Zum Nachweis

von

Flussverunreinigungen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität zu Erlangen

vorgelegt von

Paul Schwenzer

aus Crefeld.

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Mai 1906.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Erlangen.

K. b. Hof- und Universitätsbuchdruckerei von Junge & Sohn.

1906.

19

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549821_0124

Meinen lieben Eltern!

Inhaltsübersicht.

Seite

Die Regnitz bei Erlangen 2
Die Keimzählung 6
Die chemische Untersuchung 10
Die Bestimmung der Schwimm- und Schwebestoffe 14
Bisherige Verfahren 14
Versuche mit einem Berkefeldfilter 17
Veränderung des Filtrats durch die Kieselgurkerze 18
Verstopfung der Poren 19
Erhöhung der Brauchbarkeit des Berkefeldfilters 21
Die Wirksamkeit des Asbest-Berkefeldfilters gegenüber der Papierfiltration 25
Filter aus Asbest 28
Geschichtliches 28
Eigene Versuche 32
Versuche mit kleinen Filtern und die erhaltenen Ergebnisse . 32
Versuche mit größeren Filtern 38
Das Asbestfilter in seiner verbesserten Anordnung 49
Der Druckapparat 49
Das Filter 50
Der Asbest; seine Reinigung und Aufbewahrung 51
Die Stopfung des Filters 53
Die Sterilisierung 54
Untersuchungsergebnisse 56
Suspendierte Stoffe 56
Oxydierbarkeit 60
Gesamtstickstoff 67

Schon seit mehreren Jahren klagen die Bewohner der unterhalb Erlangens gelegenen Ortschaften über die Verunreinigung der Regnitz, die sie in wirtschaftlicher und gesundheitlicher Beziehung schädigt, und messen insbesondere der Stadt Erlangen einen besonders großen Anteil bei. Aber durch die Untersuchungen, die Herr Professor Dr. Heim im Herbst und Winter 1903 und im folgenden Frühjahr und Sommer durch Walther Preu[1]) hat anstellen lassen, und deren Ergebnisse in der im Jahre 1905 erschienenen Dissertation niedergelegt sind, hat sich herausgestellt, daß der Verschmutzungsgrad, den die Regnitz durch die Abwässer Erlangens erleidet, nicht groß genug ist, um annehmen zu können, die Verunreinigungen würden sich auf weite Strecken besonders nachteilig und sinnfällig bemerkbar machen. Die oft schmutzige Farbe der Regnitz sei schon oberhalb Erlangens vorhanden und dürfe wohl hauptsächlich den oberhalb Erlangens gelegenen Industriestädten (Nürnberg, Fürth u. a.) sowie ihren in bedeutend größerer Menge gelieferten Abwässern zuzuschreiben sein.

Indessen sollten die Untersuchungen noch auf einen größeren Zeitabschnitt ausgedehnt werden, und deren Ausarbeitung wurde mir im Sommer 1904 übertragen. Während ich damit beschäftigt war, traf es sich, daß der Plan, die Flußverunreinigung in der Regnitz eingehender zu bearbeiten, amtlicherseits aufgenommen wurde. Da sich an der Ausführung mehrere Untersuchungsanstalten für einen größeren Teil des Flußlaufes der Regnitz und der Pegnitz beteiligen sollten, so erschien meine Arbeit, die sich nur auf einen kleinen Teil des Flußlaufes der Regnitz und auf verhältnismäßig wenige Untersuchungen einer einzelnen Person er-

[1]) Walther Preu. Das Abwasser von Erlangen und die Regnitz an der Einmündung des Hauptsiels. Inaug.-Dissertat. Erlangen 1905.

strecken konnte, überflüssig. Aber ich war unterdessen auf einige Mängel in der gebräuchlichen Untersuchungstechnik aufmerksam geworden, nach deren Beseitigung man erwarten durfte, richtigere Ergebnisse als bisher zu erlangen und einen besseren Nachweis für die Verunreinigung eines Wassers zu bekommen.

Ehe ich jedoch darauf zu sprechen komme, sei noch das Resultat meiner anfänglichen Untersuchungen mitgeteilt, da sie wenigstens zur Ergänzung bezw. Erweiterung der früher ermittelten Werte gebraucht werden können.

Die Regnitz bei Erlangen.

Den Lauf der Regnitz bei Erlangen hat bereits Preu in seiner Dissertation beschrieben. Ich erwähne daraus nur diejenigen Punkte, die geeignet sind, die von mir gewählten Entnahmestellen erkennen zu lassen.

Die oberste bei Bruck, einem etwa 2,5 km von hier entfernten Marktflecken befindliche ist nicht eingezeichnet. Die Karte (Fig. 1) beginnt erst, wo der Rödelheim, ein kleiner Bach, in die Regnitz mündet; sie schließt an der Stelle, wo ein größerer Bach, die Schwabach, in den Fluß mündet. An diesem Punkte nahm ich mehrere Untersuchungen vor. Einige Proben für Keimzählungen und anfänglich chemische Untersuchungen entnahm ich auch noch etwas weiter unten, hinter Pirner's Kunstmühle, die nicht mehr auf der Planskizze verzeichnet ist. Das Hauptsiel Erlangens mündet bei der Dechsendorfer Brücke; ein kleiner, durch die Wässer von Weißgerbereien stark verunreinigter Graben, der sogenannte Gerbereigraben geht bereits vorher in den Fluß, gleich nachdem sich zwei eine größere Insel einschließende Flußarme vereinigt haben. Auf dieser Insel liegen die Wöhrmühle, die städtische und militärische Badeanstalt und an der Vereinigung beider Arme die Thalermühle.

Auf der Insel vor der Einmündung des Hauptsiels liegt die Schmidt'sche Badeanstalt; auf der vierten Insel unterhalb der Sielmündung befindet sich ein Freibad und die Universitätsschwimm- und Badeanstalt.

Das Wasser der Regnitz hat meist ein grünliches Aussehen; nur zu Hochwasserzeiten ist es mehr oder weniger

Fig. 1.

Schwabach
Schwabach-Brücke
Dechsendorfer-Brücke
Main-Donau-Kanal
Regnitz
Rödelheim
Kanalisation

gelb gefärbt infolge des aufgewühlten und mitgeführten Sandes. Grobe Schwimmstoffe, wie Korke, Holzstückchen, Pflanzenreste u. a. kann man öfter in dem Wasser antreffen; sie rühren nicht allein von Erlangen her, sondern kommen teilweise schon von oberhalb. Vielfach sind sie durch die Wasserschöpfräder verursacht, insbesondere durch die Arbeiten, die im Frühjahre und Sommer gelegentlich ihrer Aufstellung und Ausbesserung vorgenommen werden.

Das Erlanger Sielwasser ist mit seinen, wenn auch nur meist feinen Schwimm- und Schwebestoffen infolge der ungünstigen Flußlaufverhältnisse unterhalb der Sielmündung noch auf eine weite Strecke zu verfolgen, verbreitet am rechten Ufer namentlich im Sommer einen üblen Geruch und giebt daher sehr viel zu Klagen Anlaß. Obwohl, wie Preu ausgerechnet hat, das Verhältnis von Siel- und Flußwasser 1 : 315 beträgt und die Strömungsgeschwindigkeit auch bei Niedrigwasser hinreichend groß ist, kann man das Sielwasser infolge der ungleichmäßigen Verteilung oft noch 600 m weit bis zur Einmündung der Schwabach mit bloßem Auge verfolgen. Die jetzige Art der Einleitung des Sielwassers, welche direkt am Ufer erfolgt, macht eine sofortige, gründliche Vermischung mit dem Flußwasser unmöglich. Dazu kommt noch, daß die Regnitz gleich unterhalb des Sieleinflusses in drei Arme geteilt ist. Während das Hauptbett in nordwestlicher Richtung weiter verläuft, zweigen sich rechtsseitig nach Nordosten die beiden kleineren Arme ab. Das Sielwasser läuft am rechten Ufer entlang und gelangt hauptsächlich in den äußersten rechten Arm (s. Fig. 1), wo es nur wenig verdünnt werden kann. Geradezu verhindert wird letzteres noch dadurch, dass das Wasser des Hauptbettes unterhalb der Sielmündung durch eingelegte Staubalken aufgestaut ist, wodurch eine Strömung gegen das rechte Ufer dieses Nebenarmes hervorgerufen wird. Dementsprechend ist hier das Flußbett besonders verschlammt; die Schmutzstoffe sind am rechten Ufer geradezu aufgehäuft. Am besten charakterisiert diese Verhältnisse ein Bild, welches ich im vergangenen Winter am 3. Januar 1905 nach vorhergegangenem starken Froste bei der Dechsendorfer Brücke betrachten konnte. Daselbst zeigte sich, daß der Nebenarm der Regnitz, welcher die Hauptwasser-

menge führt, bis auf einen schmalen, etwa 1 m breiten Streifen am rechten Ufer zugefroren war. In diesem Streifen bewegte sich das nur wenig verdünnte, wärmere Sielwasser, und man konnte seinen Lauf in dem Aufsteigen von Wasserdampf verfolgen und zwar auf eine Strecke von etwa 300 m. Die ermittelte Temperatur des Sielwassers an der Mündung betrug 10°.

Die drei Zuflüsse der Regnitz, nämlich Rödelheim, Gerbereigraben und Schwabach bilden quantitativ weniger wichtige Verunreinigungsquellen, obwohl sie teilweise als Abzugskanäle von gewerblichen Betrieben sehr viel Schmutz führen.

Der im Süden außerhalb des Stadtbezirkes einfließende Rödelheim nimmt neben den Abwässern einiger Wohnhäuser auch diejenigen einer größeren Baumwollspinnerei auf. Letztere entläßt fast täglich große Mengen warmen Wassers. Sowohl im Sommer, als auch im Winter sieht man oft mehrere Tage hindurch in der Regnitz vom Rödelheim ausgehend am rechten Ufer auf der Oberfläche des Wassers eine fettartige Substanz schwimmen. Durch sie erhält der Fluß ein seifenwasserähnliches Aussehen. Diese Verunreinigung scheint aus der Spinnerei zu kommen; sie ist oft noch 800 bis 1000 m weiter abwärts zu sehen. Daneben sieht man ab und zu auch schon oberhalb des Rödelheim in der Nähe der Ortschaft Bruck ähnliche Schmutzstreifen.

Der an der Thalermühle einmündende Gerbereigraben mit seinen Gerbereiabwässern liefert für die Regnitz insofern eine Verunreinigungsquelle, als das Wasser giftige Stoffe enthält, die der Fischzucht schädlich sind[1]). Außerdem sind die Abwässer der Gerberei sehr übelriechend, was sich im Sommer oft lästig für die Anwohner bemerkbar macht.

---

[1]) In einer am 15. XII. 04 aus dem Gerbereigraben entnommenen Wasserprobe konnten geringe Mengen von Schwefelwasserstoff, schwefliger Säure und Arsen nachgewiesen werden. Der Arsennachweis gelang sehr scharf mit der von Gosio angegebenen, von R. Abel und P. Buttenberg weiter ausgearbeiteten biologischen Methode. Es wurden 30 ccm Gerbereiwasser mit Graubrot vermischt, sterilisiert und mit Penicillium brevicaule reichlich besät; nach etwa 8tägigem Wachstum im Brutschrank entstand intensiver Knoblauchgeruch. Ein zu gleicher Zeit angelegter Kontrollversuch mit Leitungswasser gab diesen Geruch nicht.

Die im Norden unterhalb der Stadt einmündende Schwabach führt im Sommer meist nur verhältnismäßig wenig Wasser, das die Regnitz in sinnfälliger Weise nicht verunreinigt. Nur führt sie zu Hochwasserzeiten namentlich im Winter größere Mengen Sandes und sieht dann gelb aus.

Die Keimzählung.

Oberhalb der Stadt wurden in der wärmeren Jahreszeit die Proben teils unmittelbar vor der großen Insel, der Wöhrmühle, teils noch weiter oberhalb in der Nähe der Brücke bei Bruck entnommen; im Winter näher an der Stadt bei den städtischen und militärischen Badeanstalten, weil wegen Frost oder Hochwasser, sowie wegen der eingelegten Stauvorrichtungen eine Befahrung mit Kähnen unmöglich war. Unterhalb Erlangens schöpfte ich teils vor dem Einfluß der Schwabach, teils hinter ihr. Die geringste Entfernung zweier Entnahmestellen war 1,3, die größte etwa 4,4 km. Dabei wurde darauf geachtet, daß die zwischenliegende Zeit nicht größer oder kleiner war, als der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses entsprach. Meistens gelangten Querschnittsproben, teilweise aber auch Stichproben zur Untersuchung. Die Querschnittsproben erhielt ich in der Weise, daß ich beim Übersetzen über den Fluß mit Hilfe eines kleinen emaillierten Kochlöffels etwa ein halbes Liter Wasser in einem sterilen Gefäße sammelte. Die Stichproben entnahm ich zum größten Teil nach den Angaben von L. Heim[1]) mittels sterilisierter und mit Schrot beschwerter Flaschen. Dabei wurde auf eine bestimmte Tiefe keine Rücksicht genommen. Ein geringerer Teil der Stichproben (diejenigen vom 8. Mai und 27. Juni 1905 der Tabelle 1) war jedoch aus etwa 1 m Tiefe geschöpft, und zwar stammten die in der Nähe der Ufer entnommenen Proben aus $^3/_4$ m, die in der Mitte aus 1 m Tiefe. Hierzu diente eine Vorrichtung, welche einer von Miquel[2]) benutzten im Prinzip nachgebildet ist. Danach

[1]) L. Heim, Lehrbuch der Bakteriologie, 3. Aufl. Stuttgart bei F. Enke 1906.

[2]) Stabsarzt Dr. Schumacher, Sonderabdruck aus dem Gesundheits-Ingenieur 1904, Nr. 26—28. Probeentnahmeapparate für Flussuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der im Hamburger hygienischen Institut in Anwendung befindlichen.

wird ein Reagensglas, dessen oberer Teil zu einer Kapillare ausgezogen, trocken sterilisiert und noch heiß zugeschmolzen worden ist, im Wasser versenkt, und die Spitze der Kapillare durch eine Zugvorrichtung abgebrochen. Wie Figur 2 zeigt, bediente ich mich eines $^1/_2$ m langen, runden Holzstieles h, an welchem sich behufs Anbringung des Reagensglases 2 Ringe r u. r', sowie ein mit einigen kleinen Löchern versehenes Winkeleisen w als Halter befinden; die Ringe sind leicht drehbar eingeschraubt. Das Reagensglas wird durch den unteren Ring r gesteckt und dann mit der seitlich umgebogenen Kapillare durch den oberen Ring r' geschoben, derart, dass die Spitze durch eines der Löcher des Halters w hindurchgeht. In dieser Stellung bindet man das Reagensglas bei r' mit einer Schnur fest. Die Leine l greift an der Spitze der Kapillare an. Mit Hilfe des Gestänges g und des Gewichtes p wird diese Vorrichtung bis zu der bestimmten Tiefe im Wasser versenkt, und die Spitze der Kapillare durch einen Zug an der Leine l abgebrochen. Der angebrachte Halter w verhindert das Abbrechen der ganzen Kapillare. Nach der Entnahme verschließt man die Öffnung mit etwas erweichtem Wachs; später wird für die Herausnahme des Wassers der Halsteil abgesprengt.

Fig. 2.

Die Aussaat konnte in der Regel etwa eine halbe Stunde nach der Entnahme im Laboratorium gemacht werden, da die Proben auf einem Fahrrade dorthin verbracht wurden. Als Nährboden diente eine von G. Schütz[1]) für Keimzählungen als sehr brauchbar befundene Zusammensetzung aus Pepton, Wasser, Gelatine und Agar. Ausgesät wurde 1 ccm einer Verdünnung mit sterilem Wasser im Verhältnis 1 : 100. Nach 6 Tagen konnten die angelegten Platten formalinisiert werden, um

[1]) G. Schütz, Der Reinlichkeitszustand künstlicher und natürlicher Mineralwässer nebst einer übersichtlichen Darstellung der gezüchteten Kleinwesen. Inaug.-Diss., Erlangen 1904 S. 14.

dann bei schwacher Vergrößerung (Leitz, Obj. 2, Okular 1) ausgezählt zu werden (Zählung von 30 Gesichtsfeldern und Umrechnung auf 1 ccm).

In der Tabelle 1 habe ich sämtliche im Flusswasser gemachten Keimzählungen zusammengestellt, auch diejenigen, welche später im Laufe der Untersuchungen über Schwimm- und Schwebestoffe vorgenommen wurden. Der Kürze halber sind die Entnahmestellen oberhalb und unterhalb Erlangens mit Ziffern bezeichnet und zwar bedeutet:

oben 1 bei der Ortschaft Bruck
„ 2 vor der Einmündung des Rödelheim
„ 3 bei der städtischen Badeanstalt
unten 1 vor der Einmündung der Schwabach
„ 2 hinter der Einmündung der Schwabach
„ 3 „ „ Pirner'schen Kunstmühle.

Die Verunreinigung der Regnitz durch die Abwässer Erlangens hat sich in nur wenigen Fällen durch eine Vermehrung der Keime unterhalb zu erkennen gegeben. Oft erwiesen sich die Proben unterhalb sogar noch etwas keimarmer, als oberhalb; besonders deutlich kam dies zum Ausdruck bei der Untersuchung vom 9. Juli 1904. Bei dieser befand sich allerdings die Entnahmestelle unterhalb unmittelbar hinter der Einmündung der Schwabach; dieses Nebenflüßchen versieht die Regnitz mit reinerem Wasser und setzt daher an dieser Stelle die Keimzahl herab.

Aber auch vor der Einmündung der Schwabach ist eine Erhöhung der Keimzahl durch die Schmutzwässer Erlangens nicht immer nachweisbar eingetreten, wenn auch in manchen Fällen.

Zieht man aus allen Keimzahlen mit Ausnahme derjenigen vom 9. Juli 1904 einen Durchschnitt, so ergeben sich für:

oben 129247 Keime
unten 128015 „ .

Es dürfte hier die bei anderer Gelegenheit von Herrn Professor Dr. Heim gemachte Erfahrung, dass der Bakteriengehalt der Regnitz unter dem Einfluß der Stauung vermehrt wird, eine Bestätigung finden. Es befinden sich nämlich oberhalb der Sielmündung im Wasser zahlreiche Stauvorrichtungen für Wasserräder oder für Mühlen; unterhalb derselben fehlen

Tabelle 1.

Keimzählung des Flufswassers oberhalb und unterhalb Erlangens.

Tag und Stunde der Entnahme	Pegelstand cm	Temperatur von Luft	Temperatur von Wasser	Ort der Entnahme	Verflossene Zeit bis zur Aussaat Min.	Zahl der Keime in 1 ccm Wasser: a) Querschnittsproben	b) Stichproben: rechtes Ufer	b) Stichproben: Mitte	b) Stichproben: linkes Ufer
28. 6. 04. 12 h. Nachm.	60	19,0	15,0	oben 2	20	—	202625	209880	247320
28. 6. 04. 1 h. Nachm.	60	19,0	15,0	unten 3	25	—	193750	220430	170460
5. 7. 04. 3 h. 15 Nachm.	60	24,0	18,0	oben 2	25		—	195048	—
5. 7. 04. 4 h. Nachm.	60	24,0	18,0	unten 3	25	—	—	185020	—
9. 7. 04. 10 h. Vorm.	55	31,0	19,5	oben 2	15	253100	—	—	—
9. 7. 04. 11 h. Vorm.	55	31,0	19,5	unten 2	20	166400	—	120019	—
4. 11. 04. 4 h. Nachm.	55	4,9	7,5	oben 2	25	160375	—	—	—
4. 11. 04. 5 h. Nachm.	55	4,9	7,5	unten 1	25	170150	—	—	—
28. 2. 05. 2 h. 45 Nachm.	98	2,0	2,5	oben 1	45	100490	—	—	—
28. 2. 05. 4 h. 30 Nachm.	98	2,0	2,5	unten 1	15	95395	—	—	—
18. 3. 05. 8 h. 40 Vorm.	103	11,0	6,5	oben 3	13	122875	—	—	—
18. 3. 05. 9 h. 45 Nachm.	103	11,0	6,5	unten 1	15	114125	—	—	—
8. 5. 05. 2 h. 30 Nachm.	70	21,0	15,0	oben 2	25	79980	63750	83125	69870
8. 5. 05. 4 h. 30 Nachm.	70	21,0	15,0	unten 1	35	80695	119375	72000	90259
27. 6. 05. 2 h. 50 Nachm.	65	20,0	18,5	oben 1	40	98125	100340	89070	115840
27. 6. 05. 4 h. 12 Nachm.	65	20,0	18,5	unten 1	28	107450	117480	95990	87650

solche in dem Arme, welcher das Sielwasser führt, auf eine größere Strecke, so daß das Wasser ungehindert fließen kann. So kann es verständlich erscheinen, wenn der Keimgehalt unterhalb Erlangens bisweilen niedriger war, als oberhalb.

Die chemische Untersuchung.

Die chemische Untersuchung erfolgte stets im Anschlusse an die Bestimmung der Keimzahl. Die Proben wurden hierzu an der gleichen Stelle entnommen, an der das Wasser für diese geschöpft war. Das Schöpfgefäß war ein Blechtopf von 1 l Inhalt mit einem 25 cm langen Stiel; damit wurden beim Übersetzen über den Fluß Querschnittsproben von 8 bis 9 l entnommen. Sämtliche Wasserproben wurden nach den Angaben von Farnsteiner, Buttenberg u. Korn[1]) gleich nach der Ankunft im Institut entsprechend mit Schwefelsäure und Chloroform konserviert.

Die Ausführung der chemischen Analysen wich von der üblichen Technik nicht ab. Wie mein Vorgänger Preu habe auch ich die Vorschriften der Handbücher von Tiemann-Gaertner, ferner von Farnsteiner, Buttenberg u. Korn benutzt; nur nahm ich immer tunlichst große Mengen Wasser, um die Versuchsfehlerquellen zu verkleinern. So bestimmte ich Abdampfrückstand und Glühverlust aus $^1/_2$ bis 1 l, Gesamtstickstoff stets aus 2 l Wasser.

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2. Die Unterschiede zwischen oberhalb und unterhalb der Stadt stellten sich als nicht bedeutend heraus. Das war nach den Untersuchungen von Preu zu erwarten, der seine Proben in unmittelbarer Nähe der Sielmündung entnommen und ebenfalls keine bedeutende Zunahme der gelösten und suspendierten Stoffe erhalten hat, wenn nicht im Laufe des Sielwassers selbst oder in seiner unmittelbaren Nähe geschöpft worden war. Ich schöpfte meine Proben etwa 500 bis 800 m weiter unten. Im Anfange hatte ich eine Stelle nach der Einmündung der Schwabach gewählt. Es ergab sich aber, daß dieser Zufluß, obgleich er die Abwässer der an ihm gelegenen Häuser aufnimmt, den Fluß nicht nur nicht

[1]) K. Farnsteiner, P. Buttenberg, O. Korn, Leitfaden für die chemische Untersuchung von Abwasser. München u. Berlin 1902.

belästigt, sondern ihn sogar mit reineren Wasser verdünnt; denn die Analysen haben gezeigt, dass das Regnitzwasser nach der Einmündung der Schwabach reiner war, als vorher. Auch Keimzählungen haben in diesem Sinne gesprochen. Infolge dessen wählte ich später die Stelle vor der Einmündung dieses Nebenflüßchens. Hier kann man bei genauerem Zusehen schon mit bloßem Auge in den Schwimm- und Schwebestoffen, die zu gewissen Zeiten vermehrt sind, das Bestehen einer Verunreinigung erkennen. Aber wenn man eine Durchschnittsprobe aus dem ganzen Flußquerschnitt untersucht und eine Durchschnittszahl aus den Werten der Tabelle 2 berechnet, wobei nur die an gleichen Tagen oberhalb und unterhalb entnommenen Proben berücksichtigt sind, so ist von Verunreinigungen nur wenig mehr zu ermitteln; es ergab sich für:

	oberhalb	unterhalb
Gelöste Stoffe:	262,0	262,8
davon organische:	69,2	69,8
davon anorganische:	192,8	193,0
Suspendierte Stoffe:	18,9	18,6
davon organische:	8,1	8,4
davon anorganische:	10,8	10,2
Oxydierbarkeit:	16,2	16,1
Gesamtstickstoff:	2,3	2,6
Deutsche Härtegrade:	11,9	12,2
Chlorgehalt:	14,7	15,0
Gelöster Sauerstoff: (in ccm)	4,8	4,7

Aus den angeführten Zahlen ist zu ersehen, daß die chemischen Untersuchungen weder sinnfällige Verunreinigungen noch sonderliche Veränderungen in der Zusammensetzung des Flusswassers nachgewiesen haben. Der Wert der Analysen kann daher nicht besonders hoch angeschlagen werden. Nach Rubner kann schon eine 20 bis 30 fache Verdünnung der Abwässer die Analyse im Hinblick auf die zumeist nur quantitativen Änderungen durch Verunreinigung und die natürlichen Schwankungen der Zusammensetzung des strömenden Wassers selbst oft sehr unsicher machen (A. f. H. Bd. 46 S. 9). Eine und es sei auch nur geringe Vermehrung der Schwimm- und Schwebestoffe hätte man wenigstens

Tabelle 2.

Chemische Analysen des Flufswasser

Nummer	Datum der Probenentnahme 1904	Temperatur (°C) von: Wasser	Temperatur (°C) von: Luft	Barometerstand mm	Pegelstand cm	Witterung	Ort der Probenentnahme	Entfernung der Untersuchungsstelle von der Sielmündung km	Aussehen	Ge- ruch
1a	4. V.	12,3	18,0	736	72	trüb, zuvor Regen	oberhalb (vor der Schmidtschen Insel)	—	schwach trüb	ohn
1b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2a	17. VI.	18,5	26,0	741	74	schön	oberhalb (vor der Schmidtschen Insel)	—	schwach trüb	ohn
2b	„ „	18,5	26,0	741	74	„	unterhalb (hinter der Pirnersmühle)	1,0	„	„
3a	28. VI.[1])	15,0	20,0	743	60	schön, morgens trüb	oberhalb (vor Einfluß des Rödelheims)	—	kaum trüb	„
3b	„ „[1])	15,0	20,0	743	60	„	unterhalb (hinter der Pirnersmühle)	0,8	„	schw faul
4a	5. VII.	18,0	24,0	741	60	schön	oberhalb (vor Einfluß des Rödelheims)	—	schwach trüb	ohn
4b	„ „	18,0	24,0	741	60	„	unterhalb (hinter der Pirnersmühle)	0,8	„	„
5a	4. XI.	7,5	4,9	744	55	trüb	oberhalb (bei der Ortschaft Bruck)	—	„	„
5b	„ „	7,5	4,9	744	55	„	unterhalb[2]) (vor Einmündung der Schwabach)	0,6	„	„

[1]) Mischung von drei Querschnittsproben; morgens 10 Uhr, nachmittags 3 U

[2]) Die Verunreinigung des Wassers durch das Erlanger Hauptsiel war hier deutl

oberhalb und unterhalb Erlangens.

Gelöste Stoffe (mg im l)			Suspend. Stoffe (mg im l)			Oxydierbarkeit (mg $KMnO_4$ im l)	Gesamtstickstoff (mg im l)	Ammoniak (mg im l)	Salpetrige Säure	Kalk (mg im l)	Magnesium (mg im l)	Härtegrade (deutsche)	Chlor (mg im l)	Schwefelsäure (mg im l)	Gelöster Sauerstoff (ccm im l)
Gesamt	Glühverlust	Glührückstand	Gesamt	Glühverlust	Glührückstand										
248,0	71,8	176,2	22,6	9,9	12,7	11,3	2,8	0,5	Spuren	—	—	—	13,0	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
257,6	74,7	182,9	17,1	7,1	10,0	20,7	2,1	Spuren	Spuren	81,2	18,4	10,6	14,0	—	4,1
256,9	76,0	180,9	15,3	7,0	8,3	21,1	2,4	„	„	79,6	18,0	10,4	13,5	18,0	4,3
261,5	78,0	183,5	12,5	6,5	6,0	16,7	2,1	„	„	90,0	27,1	12,7	16,0	21,8	4,89
260,4	80,0	180,4	13,9	7,0	6,9	18,3	2,9	„	„	93,2	27,0	13,0	18,0	22,2	4,6
267,8	74,1	193,7	25,9	10,0	15,9	16,6	2,5	1,0	„	81,0	30,0	12,3	16,0	—	4,0
269,9	72,6	197,3	25,5	10,5	15,0	14,5	2,6	1,0	„	78,0	32,0	12,2	15,5	—	3,65
261,0	49,9	211,1	20,2	8,9	11,3	10,7	2,7	Spuren	—	80,5	29,1	12,1	13,0	22,3	6,31
263,9	50,6	213,3	19,6	9,0	10,6	10,4	2,7	„	—	82,2	29,9	13,4	13,0	20,9	6,33

bends 7 Uhr.
mit bloßem Auge zu erkennen.

unterhalb in derjenigen Probe nachweisen müssen, welche etwa 600 m von der Sielmündung entfernt an einer Stelle entnommen war, wo die Verunreinigungen noch mit den Augen zeitweise zu verfolgen waren. (Untersuchung Nr. 5 b. d. Tab. 2.)

Die Bestimmung der Schwimm- und Schwebestoffe.

Die Hauptklagen über Verunreinigung der Flüsse finden zum weitaus größten Teil ihren Grund in den Schwimm- und Schwebestoffen, die das Wasser trüb und unansehnlich machen und besonders bei ungünstigen Strömungs- und Wasserverhältnissen zur Bildung von Schlammbänken Anlaß geben. Letztere belästigen die Anwohner durch Gerüche infolge eintretender Zersetzungen, sowie durch Schädigung des Fischbestandes und der Ländereien, wenn sie durch Hochwasser aufgewühlt und auf weitere Strecken fortgeführt werden.

Nachdem die Untersuchungen des Regnitzwassers keine merklichen Unterschiede zwischen oben und unten hatten erkennen lassen, obwohl eine Veränderung des Wassers durch die Zuflüsse schon für's bloße Auge deutlich wahrnehmbar war, so veranlaßte mich Herr Professor Dr. Heim, dem Studium der suspendierten Stoffe unter Anwendung einer schärferen Methode näher zu treten in der Erwartung, daß es ermöglicht würde, einen besseren Einblick in die vorliegenden Verhältnisse zu bekommen. Hatten doch schon außer anderen die von Preu ausgeführten Untersuchungen der Regnitz in der Nähe der Sielmündung gezeigt, daß gerade die Bestimmung der suspendierten Stoffe von allen übrigen am meisten Ausschlag gegeben hatte, und daß diese Ergebnisse in erster Linie für die Beurteilung der Größe der Verunreinigung in Betracht gezogen werden konnten.

Bisherige Verfahren.

Die direkte Bestimmung der suspendierten Stoffe geschieht, wie die gebräuchlichen Lehrbücher vorschreiben, in der Weise, daß eine größere Menge Wasser durch ein gewogenes Papierfilter filtriert wird und aus der Gewichtszunahme des bei 100° längere Zeit getrockneten Filters die suspendierten Stoffe pro Liter berechnet werden.

Außerdem ist noch eine indirekte Bestimmungsmethode im Gebrauch, bei der der Abdampfrückstand des unfiltrierten und des durch Papier filtrierten Wassers bestimmt und aus der Differenz beider Zahlen die Menge der suspendierten Stoffe ermittelt wird.

Filtrierpapiere können bei ihrem großen Porenvolumen lange nicht alle suspendierten Stoffe zurückhalten. Das zeigt sich am besten bei stark trüben Wässern; die sehr feinen schwebenden Teilchen gehen durch das Filter hindurch, und die abfiltrierte Flüssigkeit bleibt immer noch bis zu einem gewissen Grade getrübt. So gibt Rubner an, daß durch Papier filtriertes Wasser im Lichtkegel einer elektrischen Lampe betrachtet nicht frei ist vom Suspendierten (A. f. H. Bd. 46 S. 40). Wenn Tiemann-Gaertner im allgemeinen für die Bestimmung der suspendierten Stoffe vorschreiben, man solle das Wasser vor der Abfiltrierung mehrere Tage lang stehen lassen, so soll hierdurch lediglich eine Sedimentierung der größeren und spezifisch schwereren Stoffe erreicht werden. Dieses kann nicht gut geschehen, wenn nicht gleichzeitig ein Ausfaulen der Flüssigkeit stattfindet; dabei wird aber die Zusammensetzung des Wassers in unkontrollierbarer Weise verändert. Gibt man zur Vermeidung dieses Mißstandes Chloroform hinzu, so bleibt die Klärung aus, auch wenn man wochenlang stehen läßt. Die Konservierung kann sonach nur in dem Sinne mit Vorteil gebraucht werden, daß man die Untersuchung des Wassers zeitlich ziemlich unabhängig macht von der Entnahme. Für die Ausscheidung suspendierter Stoffe zur Erzielung eines klareren Filtrates dagegen ist sie ungeeignet. Man ist also nach wie vor auf die Leistungsfähigkeit und Beschaffenheit der Papierfilter angewiesen.

Allein in dieser Beziehung müssen, wie man bei einiger Überlegung sofort vermuten wird, mehr oder weniger große Unterschiede bestehen, je nachdem man ein Papier mit feineren oder gröberen Poren, oder mit größerer oder kleinerer Oberfläche nimmt. Bis jetzt hat meines Wissens niemand auf diesen Umstand besonders geachtet. Ich habe es deshalb unternommen, Papier verschiedener Herkunft und Filter verschiedener Größe in dieser Hinsicht zu prüfen.

Die Unterschiede waren recht deutliche. Ich nahm eine

Probe Sielwasser, teilte sie in zwei Teile und filtrierte die eine A durch ein großes Faltenfilter, hergestellt mit einem Papier aus einer hiesigen Drogenhandlung, die andere B durch ein kleines dem Trichter glatt anliegendes Filter, hergestellt mit Papier, das von F. u. M. Lautenschläger in Berlin bezogen war.

A lief schnell durch und war danach noch trüb, B ging langsam durch — nach ungefähr 5 Minuten ließ sogar die Filtration fast vollständig nach, so daß mit einer Wasserstrahlluftpumpe nachgeholfen werden mußte — und wies danach nur eine schwache Trübung auf; getrübt war es aber auch.

Die Schwebestoffe betrugen für:

A 319,5 mg
B 339,6 mg.

Die verschiedene Beschaffenheit der Filter hatte demnach eine Differenz des Ergebnisses um 20,1 mg zur Folge gehabt.

Folglich kann von einer Genauigkeit der Bestimmung der Schwebestoffe in filtriertem Wasser nicht die Rede sein, und Ergebnisse, die zu verschiedenen Zeiten oder an verschiedenen Untersuchungsstellen gewonnen sind, lassen sich nicht vergleichen; es sei denn es wäre jedesmal dasselbe Filtrierpapier genommen worden, was aber tatsächlich nicht geschieht.

Eine Fällungsmethode hat vor einigen Jahren Rubner[1]) ersonnen und ausgearbeitet, um die Schwimm- und Schwebestoffe möglichst vollkommen bis auf die kleinsten Mengen aus dem Wasser herauszubringen. Dabei wurde das zu untersuchende Wasser mit einer 8prozentigen Eisenchloridlösung und einer äquivalenten Menge von essigsaurem Natron versetzt und eine Stunde im Dampfkochapparat erhitzt. Mit dem entstehenden Niederschlag werden die suspendierten Stoffe niedergerissen und können dann nach Abgießen des Wassers am besten durch Zentrifugierung gesammelt werden.

Durch diese Methode läßt sich das Suspendierte abscheiden; jedoch muß berücksichtigt werden, daß auch in Lösung befindliche Stoffe, wie eiweißartiges Material, Schleim, auch wohl Gallenbestandteile in der Siedehitze mit ausgefällt werden (A. f. H. Bd. 46. S. 35).

---

[1]) M. Rubner, Das städtische Sielwasser und seine Beziehung zur Flußverunreinigung. Archiv für Hygiene Bd. 46 S. 1 u. f.

Der Eisenniederschlag wird auf seinen Gehalt an Stickstoff, Ätherextrakt, Asche und Kaloriengehalt untersucht. Deshalb wird von vornherein eine ziemlich große Menge Wasser, wenigstens 10 Liter, verarbeitet, was zwar nicht unerhebliche Mühe und Zeitaufwand erfordert, aber die Genauigkeit des Ergebnisses wesentlich fördert.

Die Scheidung des Gesamt-Suspendierten mit Hilfe dieser Fällungsmethode habe ich nicht vorgenommen, weil für die Ausführung der Verbrennungsanalyse ein Kalorimeter nicht zur Verfügung stand. Es mußte ein anderer Weg eingeschlagen werden. Dabei wurde daran gedacht, auch eine Möglichkeit für das Studium der biologischen Verhältnisse bestehen zu lassen, weil die im Wasser gefundenen niederen Lebewesen unter Umständen wichtige Anhaltspunkte für eine Beurteilung geben können. Für diesen Zweck dürfen die Lebewesen durch die Abscheidungsmethode nicht geschädigt werden, sondern sollen möglichst unter den natürlichen Existenzbedingungen zur Untersuchung gelangen.

Zur Gewinnung des im Wasser treibenden Planktons bedient man sich gewöhnlich eines Netzes aus Seidengaze oder Nesseltuch. Hiermit werden in erster Linie nur diejenigen Lebewesen zurückgehalten, welche größer als die Maschen des zum Fange benutzten Netzes sind. Die kleineren schlüpfen, so weit nicht eine Verstopfung der Maschen eingetreten ist, hindurch und entziehen sich der Untersuchung. Ganz kleine Mikroorganismen, selbstverständlich voran die Bakterien, entschlüpfen zum weitaus größten Teil; denn selbst viel feinmaschigeres Material, z. B. Filtrierpapier, gewährt ihnen noch offene Tore zum Durchtritt.

Es mußte also ein Filter genommen werden, das auch die mikroskopisch kleinsten schwebenden Teilchen, die Bakterien, aus dem Wasser zurückzuhalten und so zu sammeln vermochte, daß sie einer biologischen Untersuchung leicht zugänglich gemacht werden konnten.

Versuche mit einem Berkefeldfilter.

Auf den Rat von Herrn Professor Dr. Heim unternahm ich es, die suspendierten Stoffe des Flußwassers mit

Hilfe der im Laboratorium zu bakteriologischen Arbeiten vorrätig gehaltenen Berkefeldfilter abzuscheiden, und zwar wurde die bekannte Kerzenform gewählt, damit der Filtrierrückstand an der Außenseite blieb und so für weitere Untersuchung zugänglich war. Zum Durchtreiben der Flüssigkeit wurde positiver Druck genommen, da im Institut ein Handdruckapparat mit Windkessel und Filterzylinder nach Chamberland vorhanden war.

Trotz der Ansammlung des Rückstandes auf und in den Außenschichten der Kerze ist aber eine Bestimmung nur auf indirektem Wege möglich, d. h. durch Ermittelung der Differenz der Abdampfrückstände aus dem filtrierten und dem unfiltrierten Wasser. Für die direkte Bestimmung müßte die Kerze völlig getrocknet und genau gewogen werden, was sich nicht leicht einwandfrei ausführen läßt; ferner sammeln sich die suspendierten Stoffe nicht vollzählig auf dem Filterkörper selbst an, sondern bleiben zum Teil an der Wandung des Glaszylinders haften.

Veränderung des Filtrats durch die Kieselgurkerze.

Für die indirekte Bestimmung muß noch die Frage erwogen werden, ob nicht mit dem durchfiltrierten Wasser Teilchen des Filters mitgehen oder in ihm aufgelöst werden, so daß die Werte für die Abdampfrückstände, mithin auch die für die suspendierten Stoffe ungenau ausfallen müssen.

Aus einer neuen Kieselgurkerze können schon durch schwaches Klopfen feine Filterteilchen aus dem Innern herausgelöst werden. E. Hofstädter[1]) machte bei seinen Studien über das Durchwachsen von Bakterien durch Berkefeldzellen die Beobachtung, daß „sich von denselben ein feiner Schlamm loslöste, der während des Versuches die Nährlösung trübte und ein genaues Beobachten der Versuche auf das Wachstum von Bakterien hin sehr erschwerte".

Es war also zu erwarten, daß auch bei unseren Versuchen Kieselgurteilchen von der Kerze an das Filtrat abgegeben würden. Um dieses zu prüfen, nahm ich eine neue Filterkerze von 6 cm Länge und filtrierte 500 ccm klares Leitungswasser

[1]) E. Hofstädter, Archiv für Hygiene, Bd. 53, S. 213.

unter etwa 2 Atm. Druck hindurch. Das Filtrat war durch feine schwebende Teilchen, die aus dem Filter stammten, sichtlich getrübt. Dementsprechend erwies sich der Abdampfrückstand im filtrierten Wasser größer als im nicht filtrierten. Die Tabelle 3, in der die gewonnenen Werte auf 8 l berechnet sind, zeigt außerdem, daß der Abdampfrückstand im Filtrat fast ausschließlich durch anorganische Stoffe vermehrt war.

Tabelle 3.

	Abdampfrückstand	Glühverlust	Glührückstand
Filtriertes Leitungswasser	180,0	6,9	173,1
Unfiltriertes Leitungswasser	175,4	6,5	168,9
Im Filtrat mehr	4,6	0,4	4,2

Die Vermehrung des Abdampfrückstandes im Filtrat war auch noch erkennbar, nachdem weitere 3 l durchgegangen waren; es ergab sich danach für:

filtriertes Wasser 176,0 mg
unfiltriertes Wasser 174,5 „
folglich im Filtrat mehr 1,5 mg

Erst nachdem abermals 2 l Leitungswasser durchgeschickt worden waren, gab das Filter keine Teilchen mehr ab; denn als nunmehr nach den $5^1/_2$ l Leitungswasser mehrere Liter destilliertes Wasser hindurchgepreßt waren, zeigte die zuletzt entnommene Probe keine Rückstandsvermehrung mehr. Es wurden im filtrierten und unfiltrierten Wasser gleichmäßig 0,5 mg gefunden.

Verstopfung der Poren.

Nunmehr erschien das Filter für die Benutzung bei einer Untersuchung des Wassers brauchbar. Am anderen Tage schloß ich dann einen Versuch mit Regnitzwasser an. Dabei war bei einem Druck von 2 Atm. folgendes zu beobachten:

Anfänglich lief das Filtrat ziemlich rasch durch; nach Durchgang von etwa 1 l etwas langsamer, noch mehr beim zweiten und dritten Liter. Als schließlich nur mehr 1 bis

2 Tropfen in der Sekunde austreten wollten, wurde der Versuch unterbrochen und die Kerze herausgenommen.

Danach erschien ihre frühere weiße Oberfläche schmutzig bräunlich verfärbt. Es gelang aber nur, die gröberen Schwebestoffe mit einem Spatel abzunehmen; die feineren waren bereits in die Poren des Filterkörpers hineingeschlüpft. Um ihrer habhaft zu werden, war man gezwungen, Teile des Filters abzukratzen, wodurch die mikroskopische Untersuchung des Rückstandes sehr gestört wurde; denn im Gesichtsfelde erschienen allenthalben Diatomeenschalen, Teile von ihnen und Detritus. Die Abkratzung mit einem Messer wurde solange fortgesetzt, bis die Hauptmasse der Filteroberfläche (abgesehen von einzelnen grauen Stellen) wiederum nahezu weiß geworden war.

Ein folgender Filtrationsversuch sollte dartun, ob das gereinigte Filter seine ursprüngliche Leistungsfähigkeit wieder vollkommen oder annähernd zurückerlangt hätte. Das war nicht der Fall; denn das aufgegebene Flußwasser filtrierte zwar rascher als am Schlusse des vorigen Versuches, aber nicht mehr so rasch als durch ein ungebrauchtes, beziehungsweise nur mit reinem Wasser gespültes Filter.

Unter diesen Umständen war für die quantitative Bestimmung der suspendierten Stoffe das Berkefeldfilter auf die Dauer nicht zu gebrauchen. Die gewonnene Menge des Filtrates reichte jedoch aus, um eine Bestimmung der suspendierten Stoffe vorzunehmen. Zu diesem Zweck stellte ich den Abdampfrückstand sowohl im Filtrat als auch im Rohwasser fest. Gleichzeitig ermittelte ich den Abdampfrückstand des durch Papier filtrierten Wassers; ich konnte dadurch berechnen, wieviel Schwebestoffe das Papierfilter zu wenig zurückgehalten hatte.

Der Tabelle 4 zufolge betrug der Unterschied 21,3 mg; davon entfiel auf Anorganisches 12,1, auf Organisches 9,2 mg. Das durch das Berkefeldfilter filtrierte Wasser war völlig klar und, wie man annehmen darf, auch von allen Schwebestoffen einschließlich der Bakterien befreit. (Leider wurde die Prüfung auf Keimfreiheit unterlassen.)

Bei Filtrierung eines stärker verunreinigten Wassers war hinsichtlich der quantitativen Leistungsfähigkeit noch

weniger Erfolg zu erwarten. Ich habe faulendes Kanalwasser auf eine Berkefeldkerze von 6 cm Länge gegeben und bei einem Druck von 2 bis 3 Atm. durchzupressen versucht. Anfänglich ging das Wasser ziemlich schnell durch, aber schon nach 10 Minuten ließ die Ergiebigkeit wesentlich nach; die Flüssigkeit lief nur noch tropfenweise ab. Nach Verlauf einer halben Stunde kamen in der Minute nur noch 15 bis 20 Tropfen, obwohl das Filter im ganzen erst 300 bis 400 ccm durchgelassen hatte.

Tabelle 4.

Flußwasser vom 19. November 1904.

Entnahme: Oberhalb Erlangens bei der Ortschaft Bruck. (Querschnittsprobe).

Wärme des Wassers 6°, der Luft 5°.

Wasser (konserviert)	I unfiltriert	II Papierfiltrat	III Kieselgurfiltrat	Schwebestoffe: Differenz von	
				I. u. III	I. u. II
Aussehen	trüb	weniger trüb	klar	—	—
Geruch	etwas muffig	etwas muffig	ohne	—	—
Abdampfrückstand	301,8	272,5	251,2	50,6	29,3
Glühverlust	70,0	60,2	51,0	19,0	9,8
Glührückstand	231,8	212,3	200,2	31,6	19,5

Erhöhung der Brauchbarkeit des Berkefeldfilters.

Da das Berkefeldfilter infolge zu schneller Verstopfung seiner Poren mit feinen suspendierten Stoffen für die vorliegenden Zwecke zu kurze Zeit brauchbar war, ein öfterer Ersatz durch ein neues aber wegen des ziemlich hohen Preises nicht gut durchführbar schien, so wurde seine Brauchbarkeit dadurch zu erhöhen gesucht, daß man es mit einem Material umgab, das eine gewisse Vorfiltration gestattete. Hierzu wurde gereinigter und geglühter Sand gewählt[1]).

[1]) Miquel hat schon im Jahre 1892 Filterkerzen mit Sand oder Knochenkohle umgeben, um dadurch ein Durchwachsen von Wasserbakterien durch die von ihm benutzten Porzellanfilter zu verhindern. Auf diese Weise war das Filtrat bis zu 12 Tagen steril geblieben (Baumgarten, Jahresbericht 1893 S. 693).

Der Erfolg war jedoch wenig vollkommen. Denn wenn auch gröbere Schwimm- und Schwebestoffe auf der Oberfläche der Sandschicht zurückblieben, so ging doch vieles durch. Die Filterkerze erschien bald verschmutzt, wenn auch nicht so stark wie beim ersten Versuch. Auch die Verstopfung war nicht so beträchtlich, immerhin jedoch so groß, daß die Leistungsfähigkeit des Filters sichtlich beeinträchtigt war.

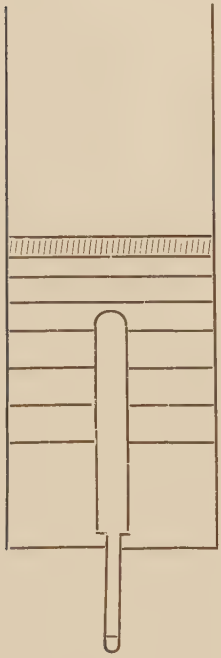


Fig. 3.

Jetzt wurde daran gedacht, auf die Sandschicht noch eine Lage feinporigeren Materials aufzulegen. Da sich Filtrierpapier nicht als geeignet erwies, weil es ebenfalls noch zu viel suspendierte Teile durchgehen ließ, so wurde die bei chemischen Arbeiten häufig gebrauchte Asbestfaser herangezogen, zumal sich in der Literatur Angaben fanden, daß Asbest bereits früher zur Keimfreimachung des Wassers ausprobiert worden war. (Siehe S. 28 ff.)

Ich benutzte die schon zu dem beschriebenen Versuch gebrauchte Filterkerze wieder, nachdem sie zuvor ausgekocht, und ihre Oberfläche durch Abkratzen mit einem Messer von Schmutz gereinigt worden war. Sie wurde, wie Figur 3 zeigt, mit gereinigtem und ausgeglühtem Sande umgeben, so daß dieser die höchste Stelle der Kerze noch um etwa 10 mm überschichtete. In der ganzen Sandschicht waren schichtweise Filtrierpapierscheiben eingelegt und so einzelne Bezirke abgegrenzt worden, um an der Verfärbung des Papiers später erkennen zu können, wie tief die Schmutzstoffe eindrangen. Oben auf den Sand kam ein Scheibchen Filtrierpapier und darauf eine Schicht gereinigter und in Wasser aufgeschwemmter Asbestfaser zu liegen (über Reinigung der

Asbestfaser siehe Seite 52), die mit Hilfe eines Glasstabes festgestopft schließlich eine Höhe von etwa 3 mm einnahm. Eine letzte Scheibe von Filtrierpapier schloß das Ganze ab.

Das so zusammengestellte Filter wurde an den Druckapparat angeschlossen. Um die Asbestfasern zu einem möglichst dichten Gefüge zusammenzupressen, zugleich auch um ein Auswaschen der Gesamt-Filtermasse zu erzielen, gab ich erst geringe Mengen destilliertes Wasser auf und filtrierte sie bei etwa 2 Atm. Druck hindurch, wonach das Filter zu einem Versuch vorbereitet war. Ich wählte zunächst Regnitzwasser, das am 24. November 1904 ungefähr 150 m unterhalb der Sielmündung im Laufe des Schmutzwassers entnommen worden war.

Obwohl der Glaszylinder wegen der in ihm befindlichen Sand- und Asbestschicht nur etwa 40 ccm Wasser faßte, und neues Wasser nur nachgefüllt werden konnte, wenn zuvor der auf dem Filter befindliche Druck durch Öffnung des Luftventils (s. Seite 50) aufgehoben war, so gelang es doch bei nahezu konstant gehaltenem Druck von 3 Atm. durchschnittlich in etwa einer Stunde 1 l Wasser zu filtrieren, ohne daß man den Apparat fortwährend im Auge behalten mußte.

Schon während der Filtration sah man, daß sich die Oberfläche des Filters allmählich verfärbte, während der unter dem Asbest befindliche Sand sein Aussehen in keiner Weise veränderte. Die Schnelligkeit der Filtration nahm auch nach Durchpressung von mehreren Litern nicht merklich ab. Nachdem etwa 3—4 l Wasser abgelaufen waren, unterbrach ich die Filtration.

Mit Hilfe einer Pinzette und eines kleinen Platinspatels entnahm ich aus dem Glaszylinder zunächst die Asbestmasse nebst dem oben aufgelegten Filtrierpapier. Die Asbestfasern waren zu einer ziemlich festen Masse zusammengepreßt, die sich als Ganzes leicht herausnehmen ließ. Dann entfernte ich der Reihe nach die Papiereinlagen und die verschiedenen Sandschichten.

Der obere Teil der etwa 3 mm dicken Asbestschicht sowie das zugehörige Papier war grauschwarz gefärbt. Die Schmutzstoffe lagen zumeist auf der Oberfläche, waren aber auch teilweise etwa 2 mm tief eingedrungen. Die Unterseite, über-

haupt das ganze untere Drittel der Asbestschicht hatte seine ursprüngliche grauweiße Farbe behalten. Das direkt unter ihr gelegene Filtrierpapier war rein weiß geblieben. Desgleichen hatten sich alle übrigen Papiereinlagen in ihrem Aussehen nicht verändert. Der Sand zeigte keine sichtbaren Verunreinigungen weder in den tieferen noch in den dem Asbest nahe gelegenen Schichten, auch nicht nach der Trocknung, wo die Farbenunterschiede deutlicher hervortreten. Die Berkefeldkerze war ebenfalls rein weiß geblieben.

Die sichtbaren Schwimm- und Schwebestoffe des Wassers waren somit von der oberen Asbestschicht zurückgehalten worden und zwar in einer Weise, die es ermöglichte, ihrer noch habhaft zu werden; denn der lockere Asbest gestattete die Wegnahme einzelner Teile behufs mikroskopischer Untersuchung. Man brauchte nur den oberen Teil der Schicht in einem Spitzglase mit etwas Wasser aufzuschwemmen. Die suspendierten Stoffe lösten sich hierbei von den Asbestfasern los und verteilten sich in der Flüssigkeit. Unter dem Mikroskope zeigten sich zahlreiche Bakterien, Algen, Diatomeen, Infusorien u. s. w. neben Pflanzenresten und Detritus. Die Infusorien waren zumeist in lebhafter Bewegung, mithin von der Filtration unbeeinflußt geblieben, obwohl sie sich sonst gegen äußere Einflüsse verschiedener Art, insbesondere gegen Druckschwankungen (wenigstens wenn sie durch osmotische Strömungen hervorgerufen sind) bekanntlich außerordentlich empfindlich zeigen.

Die Asbestfasern störten die mikroskopische Betrachtung nicht sonderlich, weil sie als solche leicht zu erkennen waren.

Ein zweiter ähnlicher Versuch wurde mit einem stärker verschmutzten Wasser angestellt, nämlich mit Sielwasser bei der Einmündung in die Regnitz, das eine faulig riechende Flüssigkeit mit vielen Schwimm- und Schwebestoffen darstellte. Die Kerze war zuvor durch Auskochen sterilisiert worden. Ich filtrierte ungefähr 2 l innerhalb drei Stunden bei einem etwas höheren Druck von 3 -4 Atm., da die Filtrationsgeschwindigkeit bei geringerem Druck zu bald nachgelassen hatte.

Die Schwimm- und Schwebestoffe wurden fast in gleicher

Weise in der Asbestschicht zurückgehalten wie beim vorigen Versuch. Ihre Oberfläche hatte sich durch die Schmutzstoffe fast schwarz gefärbt und war mit einer Schmutzkruste bedeckt. Der untere Teil der Asbestschicht hatte sich dagegen nicht verändert mit Ausnahme einer kleinen Stelle am Rande. Dort war zwischen ihr und der Glaswandung etwas Sielwasser von oben unfiltriert herabgelaufen, was man daselbst an einem dunkeln Schmutzstreifen erkennen konnte. Dementsprechend war auch das unter dem Asbest gelegene Filtrierpapier am Rande verschmutzt. Die übrigen Papiereinlagen, sowie die sämtlichen Sandschichten waren dagegen rein geblieben. Die Filterkerze hatte eine gleichmäßige, schwach grünlichgelbe Farbe angenommen; Schwebestoffe konnten auf ihr nicht gefunden werden.

Das filtrierte Sielwasser war klar, jedoch schwach gelb gefärbt. Eine Probe in Nährgelatine ausgesät erwies sich als keimfrei.

Die mikroskopische Durchmusterung der suspendierten Stoffe ergab die gleichen Verhältnisse wie beim Flußwasser. Niedere Tiere und Pflanzen, welche sich diesmal überaus zahlreich vorfanden, hatten durch die Druckfiltration nicht merklich gelitten.

Die Wirksamkeit des Asbest-Berkefeldfilters gegenüber der Papierfiltration.

Durch Zugabe von Sand und Asbest zu dem Berkefeldfilter war es nunmehr leicht möglich, größere Mengen Sielwasser von Schwebestoffen vollständig zu befreien, ohne daß sich eine Reinigung oder Erneuerung der Filterkerze nötig machte. Ging die Filtrierung infolge einer zu großen Ansammlung von Schmutzstoffen auf der Oberfläche zu langsam, so brauchte man nur die Asbestschicht abzuheben und durch eine neue zu ersetzen, was ohne besondere Mühe und Kosten in kürzester Zeit (in etwa 1 Minute) geschehen konnte. Infolgedessen stand der Bestimmung der Gesamtmenge der suspendierten Stoffe wenigstens auf indirektem Wege nichts mehr entgegen, und es ließ sich nunmehr erkennen, wie viel besser die Befreiung des Wassers von Schwebestoffen auf

diesem Wege ist als mit der bisherigen Methode der Abfiltrierung durch Papier. Ferner konnte der Frage näher getreten werden, ob das völlig schwebestofffreie Wasser bei den Prüfungen auf Stickstoff, Oxydierbarkeit u. s. w. wesentlich andere Verhältnisse erkennen ließe als ein Wasser, das nur durch Papier filtriert worden ist und noch Schwebestoffe enthält. Die Ergebnisse der Versuche mit konserviertem Sielwasser zeigt die Tabelle 5 A.

Während das Asbest-Berkefeldfilter das Sielwasser klärte und von den Schwebestoffen vollständig befreite, vermochte das Papierfilter nur die gröberen Stoffe zurückzuhalten. Das durch Papier filtrierte Wasser war noch stark getrübt und zwar von sehr feinen Schwebeteilchen, welche sich auch nach längerem Stehenlassen des Filtrates nicht zu Boden setzten.

Auf dem Papierfilter sind 120,5 mg Schwebestoffe zu wenig zurückgehalten worden; von dem im Papierfiltrat fehlenden Abdampfrückstand trafen 39,8 mg auf Anorganisches und 80,7 mg auf Organisches.

Der Kaliumpermanganatverbrauch war in dem schwebestofffreien Wasser geringer als in dem nur durch Papier filtrierten Wasser und zwar um 80,7 mg oder 23,7 %. Mithin haben die im Wasser befindlichen, feinen schwebenden Teilchen einen nicht geringen Einfluß auf die Oxydierbarkeit; denn sie nehmen einen Teil des Kaliumpermanganats in Anspruch, der je nach ihrer Natur verschieden sein muß.

In ausführlicher Weise wird auf diese Verhältnisse später bei Versuchen mit Flußwasser zurückzukommen sein, in denen die Oxydierbarkeit nicht bloß im Papier- und im keimfreien (Asbest-)Filtrat, sondern auch im Rohwasser bestimmt wurde, wobei die Zahlen, die bei Flußwasser an und für sich geringer ausfallen müssen, in ihrem relativen Verhältnis nicht minder deutliche Unterschiede ergaben. Hier suchte ich nur noch festzustellen, ob die durch das Kieselgurfilter hindurchgegangenen organischen Stoffe, insbesondere diejenigen, welche dem Wasser eine gelbliche Farbe verliehen, vielleicht solche waren, die sich nicht im Zustande völliger Lösung befanden. In der Tat zeigte sich nach dem Kochen des Filtrats eine Abscheidung von Fett an der Oberfläche, und wenn man das Filtrat mit Tierkohle schüttelte, wurde es farblos und kristallklar.

Tabelle 5A und B.

Erlanger Sielwasser vom 28. November 1904.

	A. Sielwasser konserviert nach Farnsteiner.			B. Sielwasser nicht konserviert (nach 4 Tagen untersucht).				
	unfiltriert	filtriert durch:		unfiltriert	filtriert durch Papier		filtriert durch Berkefeldfilter	
		a) Papier	b) Berkefeld-filter		a) unbehandelt	b) mit Tierkohle geschüttelt	a) unbehandelt	b) mit Tierkohle geschüttelt
Aussehen . . .	stark trüb, viele Schwebe-stoffe	stark trüb	klar, gelblich	stark trüb, viel Boden-satz	stark trüb, gelblich	schwach-trüb, farblos	klar, gelblich	klar, farblos
Geruch	stinkend	faulig	faulig	sehr stinkend	stinkend	leicht faulig	etwas stinkend	leicht muffig
Keimzahl (in 1 ccm) . . .	1650000*)	—	0*)	—	—	—	0	—
Oxydierbarkeit (mg K Mn O_4)	—**)	340,1	259,4	—**)	233,6	124,0	164,7	109,1
Abdampfrückstand (mg im l) gesamt	1210,0	890,5	770,0					
Abdampfrückstand (mg im l) organ.	628,0	416,1	335,4					
Abdampfrückstand (mg im l) anorgan.	582,0	474,4	434,6					
Suspendierte Stoffe (= Differenz) gesamt	—	319,5	440,0					
Suspendierte Stoffe (= Differenz) organ.	—	211,9	292,6					
Suspendierte Stoffe (= Differenz) anorgan.	—	107,6	147,4					

Entnahme: Bei der Einmündungsstelle in die Regnitz an der Dechsendorfer Brücke ($^1/_2$3 h nachmittags).

Temperatur des Sielwassers + 10°; der Luft — 1°.

Witterung: Etwas trübe; während der Tage zuvor wenig Schneefall.

*) Aussaat vor Zusatz des Konservierungsmittels.

**) Die Bestimmung wurde nicht ausgeführt, weil sie in der Regel nur in einem durch Papier filtrierten Wasser angestellt zu werden pflegt.

Dementsprechend war auch die Oxydierbarkeit nach dem Schütteln mit Tierkohle geringer, wie Tabelle 5 B zeigt, und zwar hatte sie um 33,76 % abgenommen. Wie zu erwarten, war beim Papierfiltrat die Oxydierbarkeit durch die Behandlung mit Tierkohle in noch erheblicherem Maße herabgesetzt worden, nämlich um fast die Hälfte, genau um 46,9 %.

Filter aus Asbest.

Geschichtliches.

Nachdem sich gezeigt hatte, daß die Schmutzstoffe bereits auf der oberen dünnen Lage Asbest nahezu vollständig zurückgehalten wurden, während die Berkefeldkerze in Bezug auf die Zurückhaltung der schwebenden Stoffe so gut wie nichts zu leisten hatte, so führte das zur Überlegung, ob man den gewünschten Erfolg nicht einfach dadurch erreichen könnte, daß man auf die Berkefeldkerze verzichtete und bloß Asbest nahm. Denn auch der Sand konnte weggelassen werden, da er für die Zurückhaltung der schwebenden Teile sich als ganz ungenügend erwiesen hatte.

In der Tat finden sich in der Literatur sehr viele Hinweise darauf, daß sich Asbest für die Filtration eigne.

Eingehende Darstellungen aller gebräuchlichen Filter sind in dem Werke von Koenig[1]), sowie in den Mitteilungen von Plagge[2]) gegeben, wobei der Asbest eingehende Würdigung findet.

Plagge sagt unter anderem S. 25 26, daß die Möglichkeit, mit Asbestschichten sicher keimfreies Wasser zu erzielen, seit den Breyer'schen grundlegenden Versuchen außer Frage stehe. Allen Asbestfiltern gemeinsam sei aber die Schwierigkeit der ganz unerläßlichen und häufig zu wiederholenden Sterilisierung. Denn wenn die Filter in Form von Häutchen oder Scheiben, bei denen ein Klebemittel mit angewandt war, angefertigt waren, so vertrugen sie das Kochen nicht, und

[1]) J. Koenig, Die Verunreinigung der Gewässer, deren schädliche Folgen, sowie die Reinigung von Trink- und Schmutzwasser. Berlin bei Springer 1899.

[2]) Plagge, Untersuchungen über Wasserfilter. Berlin 1895, Verlag von Aug. Hirschwald.

wenn der Asbest in Breiform angewendet wurde, so daß das Kochen möglich war, so lag der Mangel in der vorhandenen Konstruktion; denn die Filter mit breiförmigem Asbest sollten zwar forderungsgemäß in der Weise in Gebrauch genommen werden, daß der Brei mit sterilisiertem Wasser bereitet wurde. Das erschien aber in der Praxis so umständlich und lästig, daß man zum Anlassen ungereinigtes Wasser verwendete und so von vornherein Keime in das Filter brachte, die man aus dem Wasser entfernen wollte.

Die Mikromembranfilter von Fr. Breyer waren wohl die ersten, in denen Asbest zur Entkeimung des Wassers praktisch zur Verwendung kam. Die Mikromembran bestand aus einem nach spezieller Vorschrift hergestellten Metallgewebe, auf das ein mikrolithisches Gewebe von Asbest aufgetragen war; zwei solcher Mikromembranelemente mit ihren mikrolithischen Schichten gegeneinander gekehrt bildeten ein Mikromembransystem[1]). Im Jahre 1885 prüfte dann Hesse[2]) außer Sand und Tierkohle etc. noch komprimierte Faserstoffe, nämlich Asbest, Watte und Cellulose auf ihre Anwendungsfähigkeit bei der Wasserfiltration und kam zu dem Ergebnis, daß komprimierte Watte, komprimierte Cellulose, Sand und ein „Patentfilter bester Qualität“ alsbald Massen von Keimen durchtreten ließen, daß dagegen Tierkohle, Carbo calcis (Maignen's Patent) und komprimierter Asbest in der Regel anfangs sämtliche Keime zurückhielten. „Erst nach Stunden bis Tagen, und zwar nach Ablauf von $^1/_4$ bis 3 l Flüssigkeit, traten Bakterien durch das Filter, und zwar zunächst nicht etwa die feinsten und kleinsten Formen, sondern gewöhnlich eine mit lebhafter Eigenbewegung begabte, meist zweigliedrig angeordnete, kleinere Bakterie, welche die Gelatine in Fäulnis versetzte. Dieser Befund deutete darauf hin, daß jene Keime weniger durch den Filtrationsvorgang fortbewegt waren, als vielmehr wesentlich sich selbständig durch das Filter hindurchgearbeitet hatten.“ „Am besten bewährte sich Asbest, und zwar kam es bei diesem Stoffe viel weniger auf die Dicke

[1]) Nach einem Referat in der Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege Bd. XVI, 1884, Supplement, Seite 26.

[2]) W. Hesse, Über Wasserfiltration. Deutsche medizinische Wochenschrift 1885, Seite 71.

der Schicht, als auf die Kraft an, mit welcher er zusammengepreßt wurde".

Zu den Vorzügen des Asbestes gehört, so sagt Hesse weiter, „daß er eine unorganische, nahezu unverwüstliche Substanz ist, an das Wasser nichts abgibt, von diesem außer den suspendierten Stoffen nichts zurückhält, im Wasser wie ein Schwamm aufquillt, und wie ein Schwamm sich ausdrücken läßt, wobei sich die leicht verschieblichen Fasern der sich tatsächlich schleimig anfühlenden, gequollenen Masse äußerst dicht und gleichmäßig aneinander legen." Der Asbest war wie die übrigen oben genannten Faserstoffe auf ein schwach konvexes, den Boden eines Zylinders bildendes Metallsieb gelagert und mittels Schraubstock zusammengepreßt worden. Die Höhe der Filterschicht betrug 3 bis 2,7 mm. Jauche, die auf ein solches im strömenden Wasserdampfe sterilisiertes Filter gegeben war, filtrierte bei einem Druck bis zu 75 cm Wassersäule keimfrei. Später wurde Brunnenwasser filtriert und zwar bei einem Druck von 7 m Wassersäule. Auch dieses Wasser filtrierte keimfrei und zwar lange Zeit hindurch. Bei genügender Kompression waren auch nach Wochen noch keine Keime durchgewachsen. So filtrierten bei einer Asbestschicht von 4 mm Dicke und 70 mm Durchmesser in 44 Tagen 152 Liter, und bei 4,5 mm Dicke und 90 mm Durchmesser in 33 Tagen $85^1/_2$ l Wasser, wobei allerdings die Leistungsfähigkeit mit der Zeit bedeutend sank; im ersten Falle von $8^1/_2$ l täglicher Menge auf $1^1/_4$ l, im letzteren Falle von $12^1/_2$ l täglicher Menge auf $^3/_4$ l.

In der Folge setzte W. Hesse seine Versuche mit Asbestfiltern fort und stellte gleichzeitig welche mit den zu dieser Zeit neu in den Handel gebrachten Tonzellen (nach Chamberland-Pasteur) an, die ebenfalls für die Keimfreimachung von Wasser geeignet befunden worden waren, jedoch wegen ihrer Unzuverlässigkeit, ihres hohen Preises, sowie der Umständlichkeit ihrer Bedienung eine allgemeine Verbreitung noch nicht hatten finden können. Er berichtete im Jahre 1886 in der Zeitschrift für Hygiene Bd. 1 S. 178 ff. unter anderem folgendes:

„Bei den neuen mit Asbest- und Tonzellenapparaten angestellten Versuchen gelangte sowohl hoher (0,7—2,8 Atm.), als auch niedriger Druck (ca. 1 m Wassersäule) zur Anwendung. Filtriert wurden gewöhnlich klare und keimarme Gebirgswässer;

jedoch wurden zeitweise durch meteorische und andere zufällige Einflüsse, wie auch durch absichtliche Vornahmen die für die Filtration denkbar ungünstigsten Bedingungen geschaffen.“ „Zu den Versuchen mit Asbest dienten schließlich möglichst dünne (unter 1 mm) ebene Schichten reinen langfaserigen komprimierten Asbestes.“ (Asb. canad. A. Nr. 1 der Firma John Bell in Berlin). „Die Asbestapparate bestanden im wesentlichen aus 2 mit feiner Drahtgaze überzogenen starken planen runden Siebplatten, zwischen welchen durch eine Schraubvorrichtung der in feuchtem gequollenem Zustande eingetragene Asbest gewöhnlich im Schraubstock unter Benutzung eines Hebels zusammengepreßt wurde. Der Rand der Siebplatten blieb zur Vermeidung seitlichen Durchtretens von Keimen solid.“

Richtig besorgte Asbestfilter filtrierten stets dauernd keimfrei, was bei den Tonzellen namentlich den Chamberlandschen keineswegs der Fall war. Nichtsdestoweniger stellt W. Hesse die Tonfilter als den Asbestfiltern gleichwertig hin: erstens weil die Ergebnisse der Versuche mit Tonzellen in physikalischer Hinsicht außerordentlich interessant seien und zweitens, weil er der Ansicht war, daß es der Technik in kürzester Zeit gelingen werde, zuverlässig dauernd keimdichte Tonzellen in Masse herzustellen. Es müßten die Poren kleiner als bei den Chamberlandschen Zellen, und die Anwesenheit selbst der kleinsten, die ganze Wand durchdringenden Risse und Sprünge ausgeschlossen sein.

Bei der Filtration unter hohem Druck trat die Abnahme des Filtrates bei Asbestfiltern viel rapider ein, als bei Tonfiltern, welch letztere weit gleichmäßiger arbeiteten. Dieser Nachteil war aber dadurch ausgeglichen, daß, wenn man gleich große Filterflächen in Betracht zog, die Anfangsleistung bei Asbestfiltern eine ungleich größere war, als bei Tonfiltern. Die Filtration bei niedrigem Druck (1 m Wassersäule) ergab, daß unter Berücksichtigung gleich großer Filterflächen bei Asbestfiltern die Anfangsleistung ebenfalls ungleich höher war, als bei Tonfiltern; es trat aber ziemlich schnell ein erheblicher Nachlaß ein. Dagegen zeichneten sich Tonzellen durch die immerhin bedeutende Größe, namentlich aber durch die außerordentliche Gleichmäßigkeit ihrer Leistung aus. Die Menge des Filtrates verminderte sich zwar auch bei ihnen im Beginn

des Versuchs ein wenig, erhielt sich aber dann längere Zeit, Monate hindurch, ganz oder nahezu unverändert.

Eigene Versuche.

Für meine Zwecke kam es zunächst darauf an, unter Benutzung des Asbestes eine Filteranordnung zu treffen, die leicht herzustellen und billig zu beschaffen ist, und mit der es gelingt, eine genügende Menge Wasser von ihren suspendierten Stoffen in nicht zu langer Zeit so weit zu befreien, daß selbst die kleinsten nur mikroskopisch sichtbaren Teile vom Filtrat ausgeschlossen werden.

In dieser Hinsicht hätte mir die Anordnung, wie sie Hesse in seinen ersten Mitteilungen[1]) gab, genügen können, wenn es sich bewährt hätte, daß stark verunreinigtes Wasser sicher keimfrei filtrierte. Das war aber nicht wohl zu erwarten, weil die Möglichkeit gegeben war, daß Keime zwischen der Wand des Zylinders und der Asbestmasse ins Filtrat durchtraten.

Hesse hat sich durch starke Einpressung des Asbestes zu helfen gesucht. Ich hatte damals seine Arbeiten noch nicht gekannt und deshalb sein Verfahren nicht angewendet. Übrigens scheint es sich in der Folge nicht bewährt zu haben; denn sonst hätte Hesse nicht in seiner zweiten Arbeit die Möglichkeit des seitlichen Durchtritts direkt angeführt. Diese besteht meines Erachtens auch bei den von ihm angewendeten gepreßten Siebplatten.

Versuche mit kleinen Filtern und die erhaltenen Ergebnisse.

Meine erste Anordnung war derart, daß ich auf den Boden des Zylinders für eine Berkefeldkerze eine siebförmig durchlochte Porzellanplatte legte, darauf eine 15 mm hohe Schicht feuchten Asbestes brachte und sie mit dem Glasstabe feststopfte; einige obenauf gelegte Scheibchen von Filtrierpapier dienten als Abschluß; sie sollten beim Einfüllen des Wassers eine Aufwühlung der Asbestfasern verhindern. Hierauf wurde sowohl die obere weite, als auch die untere enge Öffnung mit Watte versehen und das Ganze im Dampf sterilisiert. Nach

[1]) Deutsche medizinische Wochenschrift 1885, Seite 71.

Einfügung in den Druckapparat (s. Seite 49) gab ich steriles destilliertes Wasser auf, um das Filter auszuwaschen, und preßte es mit einem Druck von 2 Atm. hindurch, wobei gleichzeitig die Asbestschicht fester zusammengedrückt wurde. Nachdem das sterile Wasser abgelaufen war, gab ich Regnitzwasser auf und brachte den Druck wiederum auf 2 Atm. Von dem zuerst ablaufenden Wasser, sowie nach der Filtration von 2 l Flußwasser machte ich je eine Aussaat von 1 ccm in Gelatineplatten, die vollständig keimfrei blieben; nur ein Schimmelpilz hatte sich auf der zweiten Platte angesiedelt, der offenbar aus der Luft stammte.

Am nächsten Tag gab ich Regnitzwasser vermischt mit Kanalschlamm auf und filtrierte im ganzen davon etwa 80 ccm durch dasselbe Filter, das dazwischen nicht sterilisiert worden war. Auch hier ergab die Aussaat von 1 ccm auf eine Gelatineplatte Keimfreiheit, während das unfiltrierte Wasser, von dem ich zur Kontrolle eine Aussaat gemacht hatte, eine Unmenge Keime aufwies; die Gelatine war dicht besät und am zweiten Tage ganz verflüssigt, so daß eine Auszählung unmöglich war.

Dasselbe Flußwasser war inzwischen zur Konservierung teils mit Chloroform, teils mit Schwefelsäure versetzt worden und wurde 3 Tage später in einer Menge von etwa 2 l durch das Filter geschickt.

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt das Ergebnis der quantitativen Untersuchung.

Tabelle 6.

Regnitzwasser, entnommen am 10. Februar 1905 unterhalb Erlangens vor der Vereinigung mit der Schwabach, an einem Punkte, wo die beiden Arme der Regnitz zusammentreffen (Querschnittsprobe).

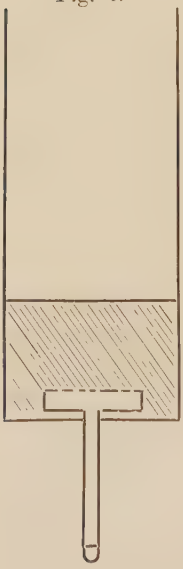
Wasser	I unfiltriert	II durch Papier filtriert	III Durch Asbest auf Porzellansieb filtriert	Schwebestoffe = Differenz von:	
				I u. III	I u. II
Abdampfrückstand	281,7	245,8	234,1	47,6	35,9
Glühverlust	68,0	57,2	50,1	17,9	10,8
Glührückstand . .	213,7	188,6	184,0	29,7	25,1
Oxydierbarkeit . .	—	24,1	16,5	—	—

Schon dieses einfache Filter hatte ein sehr befriedigendes Ergebnis geliefert. Der Unterschied zwischen dem durch Asbest und dem durch Papier filtrierten Wasser war ganz erheblich; denn durch Papier wurden nur etwa $^3/_4$ der gesamten Schwebestoffe zurückgehalten, statt 47,6 mg nur 35,9 mg. Auf die Einzelheiten dieses Versuches soll erst später im Zusammenhang mit den anderen eingegangen werden.

Trotzdem, daß schon die höchst einfache Anordnung ein keimfreies Filtrat geliefert hatte, schien mir die Zusammenstellung doch nicht sicher genug; denn die Möglichkeit lag zu nahe, daß Keime zwischen der Glaswand und dem Asbest mangelhaft filtriert nach unten gelangen konnten. Wie berechtigt diese Besorgnis war, davon konnte ich mich in einem späteren Versuche, bei dem eine verbesserte Filtervorrichtung zur Anwendung gekommen war, überzeugen (s. Seite 41/42 über den Versuch mit rotem Abwasser).

Die nächste Verbesserung war folgende: Eine kleine siebförmig durchlochte Metallplatte ließ ich auf die Metallfassung einer abgebrochenen Berkefeldkerze löten, befestigte den Stiel mit seiner Schraubenmutter im Glaszylinder, der nach der Beschickung mit Asbest etwa 40 bis 50 ccm zu fassen vermochte, und stopfte etwa 15 mm hoch feuchten Asbest hinein, so daß er noch in dem kleinen Zwischenraum zwischen Zylinderwand und Metallkörper geschoben wurde (s. Figur 4); 2 Scheibchen Filtrierpapier schlossen wiederum das Ganze ab.

Fig. 4.



Am 28. Februar 1905 wurden von zwei Entnahmestellen je 3 l filtriert. (Die Tabelle 7 zeigt das Ergebnis.)

Zunächst muß auffallen, daß die bakteriologische Untersuchung unterhalb weniger Keime ergab, als oberhalb. Das war kein neuer Befund; denn ein ähnlicher ist schon in früheren Jahren, namentlich in den Sommermonaten erzielt worden. Es läßt sich durch das Vorhandensein von Staubalken in dem Flußlauf erklären, dessen Bewegung dadurch träger wird. Unterhalb der Kanaleinmündung

fehlen solche Staubalken auf weitere Entfernung. Außerdem kommt noch der Umstand in Betracht, daß bei der Probe von oberhalb längere Zeit bis zur Aussaat verflossen ist, als bei der Probe unterhalb.

Tabelle 7.

Entnahme I: 2500 m oberhalb der Stadt durch den ganzen Flußquerschnitt.

Barometerstand: 726 m; Pegelstand 98 cm.
Wärme des Wassers 2,5°, der Luft 2°.

Die bakteriologische Aussaat konnte erst $^3/_4$ Stunden nach der Entnahme gemacht werden und lieferte 100490 Keime.

	I unfiltriert	II durch Papier filtriert	III durch Asbest filtriert	Schwebestoffe = Differenz von:	
				I u. III	I u. II
Abdampfrückstand . .	258,0	236,7	227,9	30,1	21,3
Glühverlust	82,2	73,1	69,1	13,1	9,1
Glührückstand . . .	175,8	163,6	158,8	17,0	12,2
Oxydierbarkeit . . .	—	11,7	7,1	—	—
Gesamtstickstoff . .	1,91	—	—	—	—

Entnahme II: Unterhalb Erlangens, 600 m unterhalb der Einmündung des Hauptsiels, aber vor Einmündung der Schwabach (Querschnittprobe).

Die bakteriologische Aussaat konnte $^1/_4$ Stunde nach der Entnahme gemacht werden: 95395 Keime.

	I unfiltriert	II durch Papier filtriert	III durch Asbest filtriert	Schwebestoffe = Differenz von:	
				I u. III	I u. II
Abdampfrückstand .	260,2	237,6	226,8	33,4	22,6
Glühverlust	81,2	71,4	66,2	15,0	9,8
Glührückstand . . .	179,0	166,2	160,6	18,4	12,8
Oxydierbarkeit . . .	—	13,0	10,5	—	—
Gesamtstickstoff . .	—	—	—	—	—

Unter Berücksichtigung dieses Punktes besteht eine gewisse Übereinstimmung zwischen dem bakteriologischen und chemischen Befunde; denn auch bei letzterem fanden sich keine großen Unterschiede. Die Vermehrung des Abdampfrückstandes und der Oxydierbarkeit war nur sehr klein; ja der Glühverlust ergab sich unterhalb geringer, als oberhalb.

Die Unterschiede an sich fielen ziemlich gleich aus, ob man durch Papier oder durch Asbest filtriert hatte. Aber die absoluten Zahlen ergaben bei der Asbestfiltration durchweg größere Ausschläge, wie sich das bei der Berechnung der Schwebestoffe in den Differenzen deutlich darstellt. Mit der Asbestfiltration ließen sich etwa um $^1/_3$ mehr Schwebestoffe herausbringen, als mit der Papierfiltration, trotzdem daß das Asbestfilter nicht ganz sicher funktioniert hatte; denn die Aussaat von 1 ccm des Filtrates von oberhalb ergab noch 59 Keime. (Das Filtrat von unterhalb wurde nicht geprüft, weil das Wasser bereits konserviert war).

Wenn sich auch annehmen läßt, daß der geringe Keimgehalt des Filtrates in dem Ausfall der chemischen Untersuchung nicht oder kaum deutlich zum Ausdruck gekommen sein wird, so liegt hier doch eine Ungenauigkeit vor, die der Verwertbarkeit der Zahlen einigen Eintrag tut. Wenn man es als zulässig erklären wollte, daß im Filtrat Keime vorhanden sein dürfen, so wäre damit die Einheitlichkeit der Resultate in Frage gestellt. Wir verlangen heute, daß zur Gewinnung eines Einblickes in die Größe des Suspendierten das Filtrat vollständig keimfrei sein muß.

Ich habe damals einige Wochen später, nämlich am 18. März 1905, die Versuche mit einem Filter wiederholt, das mit dem vorigen gleich beschaffen, aber noch vorsichtiger gestopft war. Ich habe wieder von oberhalb der Sieleinmündung, diesmal noch im Weichbild der Stadt, nämlich bei der städtischen Badeanstalt eine Querschnittsprobe entnommen und eine andere unterhalb, ebenfalls vor der Einmündung der Schwabach.

Die Keimzahlen betrugen:

I. oberhalb

a) im Rohwasser (13 Minuten nach der Entnahme ausgesät): 122875;

b) im Filtrate, nach Filtration von:
100 ccm: 0 Bakt., 2 Schimmel,
250 ccm: 1 Bakt., 0 Schimmel,
1000 u. mehr ccm: 0 Bakt., 0 Schimmel;

II. unterhalb
a) im Rohwasser (15 Minuten nach der Entnahme ausgesät): 114125;
b) im Filtrate, nach Filtration von:
100 ccm: 2 Bakt., 2 Schimmel,
250 ccm: 0 Bakt., 2 Schimmel,
1000 u. mehr ccm: 1 Bakt., 3 Schimmel.

Was zunächst das Rohwasser betrifft, so fanden sich hier deutlich mehr Keime in dem Staubezirk oberhalb, als in dem freifließenden Wasser unterhalb. Das Filtrat ist beidemale als keimfrei anzusehen; denn nach der ganzen Lage der Sache können die zwei Keime in 100 ccm, ebenso wie der eine Keim in 250 ccm als Verunreinigung durch die Luft bei der Aussaat angesehen werden, weil die nachfolgenden Entnahmen wieder vollständige Keimfreiheit erkennen ließen. Die Schimmelpilze stammen sicher aus der Luft, denn im Rohwasser waren gar keine solchen vorhanden.

Tabelle 8.

Entnahme I: Oberhalb bei der städtischen Badeanstalt (Querschnittsprobe) am 18. März 1905.
Barometerstand: 734 mm, Pegelstand 103 cm.
Wärme des Wassers 6,5°, der Luft 11°.

	I unfiltriert	II Papierfiltrat	III Asbestfiltrat	Schwebestoffe = Differenz von: I u. III	Schwebestoffe = Differenz von: I u. II
Abdampfrückstand . .	259,6	230,4	219,2	40,4	29,2
Glühverlust	73,4	62,6	57,6	15,8	10,8
Glührückstand . . .	186,2	167,8	161,6	24,6	18,4
Oxydierbarkeit . . .	17,5	11,7	9,9	—	—
Gesamtstickstoff . .	2,38	1,94	1,54	—	—

Entnahme II: Unterhalb Erlangens vor Einmündung der Schwabach (Querschnittsprobe) am 18. März 1905.

	I unfiltriert	II Papier-filtrat	III Asbest-filtrat	Schwebestoffe = Differenz von: I u. III	Schwebestoffe = Differenz von: I u. II
Abdampfrückstand .	265,5	233,6	221,2	44,3	31,9
Glühverlust	75,1	62,9	57,2	17,9	12,2
Glührückstand . . .	190,4	170,7	164,0	26,4	19,7
Oxydierbarkeit . . .	18,5	12,3	9,9	—	—
Gesamtstickstoff . .	2,45	1,82	1,54	—	—

Auch hier ergab sich wieder ein beträchtlicher Unterschied in den Resultaten, je nachdem durch Asbest oder durch Papier filtriert war; er betrug diesmal nicht ganz ein Drittel, ist aber einwandfrei, denn das Filtrat enthielt keine mikroskopischen Bestandteile mehr.

Nachdem sich so mit der Asbestfiltration auf einfache Weise zuverlässige Aufschlüsse über die Verunreinigung eines Wassers hatten erhalten lassen, mußte das Verfahren so eingerichtet werden, daß es für die Praxis handlicher und ganz sicher war. Denn es erschien immerhin mißlich, so kleine Filterzylinder, wie sie bisher benutzt waren, weiterhin in Gebrauch zu nehmen, da die öftere Nachfüllung nicht nur umständlich ist, sondern wenigstens bei der bisherigen Anordnung des Siebkörpers die Aussicht, ein keimfreies Filtrat zu erhalten, beeinträchtigen kann. Das zeigte sich gleich im folgenden Versuch, der zum erstenmal mit einem größeren Zylinder und einem größeren Sieb hergestellt worden war.

Versuche mit grösseren Filtern.

Auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. Heim wurde ein Glaszylinder von 277 mm Länge und 61 mm lichter Weite angefertigt mit einem Boden, der in der Mitte eine 13 mm weite Öffnung zum Durchstecken des Ausflußrohres des Siebkörpers hatte. Dazu mußte natürlich ein eigenes Metallgehäuse am Druckapparat geschaffen werden. Länger als 277 mm konnte der Zylinder nicht gewählt werden, weil sonst für die

Unterstellung eines Gefäßes für das Filtrat nicht mehr genügend Platz gewesen wäre. Dieser Zylinder faßte leer 830 ccm Flüssigkeit und nach Einbringung des Siebkörpers und der Asbestmasse etwa 600 ccm. Es konnte also rund immerhin $^1/_2$ Liter Wasser auf einmal filtriert werden.

Der Siebkörper wurde zunächst ähnlich dem kleinen gewählt (Figur 4); auf dem Ausflußrohr saß eine Büchse von 10 mm Höhe und 57 mm Durchmesser. Somit füllte dieser Siebkörper das Lumen des Glaszylinders bis auf einen Zwischenraum von etwa 2 mm fast aus. Das war, wie sich später zeigte, fehlerhaft; denn es gelang nicht, den Asbest am Siebkörper vorbei keimdicht einzustopfen.

Am 17. Mai 1905 wurde der Glaszylinder mit dem Siebkörper versehen und 17—19 mm hoch Asbest darüber gestopft; ein Scheibchen Filtrierpapier, desgleichen eine lose Metallsiebplatte oben aufgelegt, dienten zum Schutze des Asbestes beim Eingießen des Wassers. Nachdem das Filter im Dampf sterilisiert worden war und man zur Vermeidung des Zerspringens den Glaszylinder langsam im Dampftopfe hatte abkühlen lassen, wurde unter einem Druck von 1—2 Atmosphären erst etwas steriles Wasser durchgepreßt und dann im ganzen 1 Liter Sielwasser filtriert, was in 40 Minuten beendigt war.

Die Aussaaten auf Gelatineplatten ergaben nachstehende Keimzahlen:

I. im Rohwasser (1 ccm): 2860000 Keime (s. S. 44);

II. im Filtrat (Aussaat von je 2 ccm) nach Filtration von:

a) 80—100 ccm: 0 Keime,

b) 250 ccm: 15 Keime,

c) 1000 ccm: 48 Keime.

Man erhielt zwar mit dieser Anordnung ein klares Filtrat, das nur einen Stich ins Gelbliche hatte und nur sehr wenig Keime enthielt; es gelang aber nicht, sie alle zu beseitigen. Daran war folgender Umstand schuld:

Als während der Filtration behufs Nachgießens von Flüssigkeit der Druck etwas zu rasch aufgehoben wurde, schob sich die Asbestmasse merklich in die Höhe und erlitt dadurch eine Lockerung ihres Gefüges. Ich war auf eine solche Möglichkeit vorbereitet; denn ich hatte Ähnliches wiederholt gesehen und auch einen darauf gerichteten Versuch gemacht:

Flußwasser, das kurz nach der Entnahme in 1 ccm 80695 Keime aufwies, ließ ich bis zum anderen Tage stehen und filtrierte dann 1 Liter bei 4 Atmosphären Druck durch ein kleines Filter, bei dem ein 20 mm hoher, fingerhutförmig gestalteter Siebkörper als Unterlage diente, binnen 39 Minuten. Bei der Kleinheit des Zylinders mußte über 20mal der Druck aufgehoben werden; letzteres geschah jedesmal vorsichtig. Das Filtrat blieb, wie die Aussaaten von je 2 ccm zeigten, keimfrei. Aussaat von je 2 ccm:

a) nach Filtration von 100 ccm: 1 Bakt. (Luftverunreinigung), 0 Schimmel,
b) nach Filtration von 250 ccm: 0 Bakt., 0 Schimmel,
c) nach Filtration von 1000 ccm: 0 Bakt., 1 Schimmel.

Einen Tag später nahm ich dasselbe Wasser und filtrierte durch ein neues sterilisiertes Filter wiederum 1 Liter, diesmal bei 5 Atmosphären in 30 Minuten. Nachdem 100 ccm durchgelaufen waren, hob ich durch Öffnung des Hauptventils den Druck ganz plötzlich auf. Nun wurde das Filter gelockert und es ergab sich:

a) nach Filtration von 100 ccm: 0 Keime,
b) „ „ „ 250 „ ∞ „
c) „ „ „ 1000 „ ∞ „

Nach diesem Mißerfolg handelte es sich darum, einen Siebkörper anfertigen zu lassen, bei dem der Asbestmasse mehr Halt geboten war, indem ein Teil von ihr unter die Metallbüchse gestopft wurde. Dieses war durch pilzförmige Gestaltung der Siebbüchse zu erreichen; durch die Wölbung des Daches wurde an Filtrationsfläche hereingebracht, was durch die seitliche Einengung verloren gegangen war. Bei den kleineren Filtern wurde der Effekt dieser Einziehung dadurch zu erzielen gesucht, daß leistenförmige Vorsprünge unterhalb des durchlochten Teiles angebracht wurden. Diese Anordnung hat den weiteren Vorteil, daß Keime, die etwa außen an der Zylinderwand in die Tiefe gedrungen sind, beim allenfallsigen Aufsteigen durch Asbest filtriert werden müssen, weil sie vom Boden des Zylinders bis zur Siebplatte keinen direkten Weg finden. Die beiden Siebkörper sind in der Figur 5 (A und B) abgebildet.

Mit dem nach Angabe von Herrn Professor Dr. Heim

pilzförmig gestalteten Siebkörper (A) wurde nun ein neues Filter hergestellt und am 23. Mai 1905 wiederum 1 Liter Sielwasser durchfiltriert. Dieses geschah bei etwa 2,5 Atmosphären Druck und war in 35 Minuten beendigt. Das Filtrat war klar, nicht gelblich; die Keimzahl betrug:

I. im Rohwasser (1 ccm): 1960000 (s. S. 44);

II. im Filtrat (Aussaat von je 2 ccm), nach Filtration von:

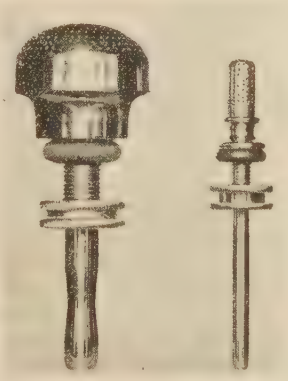
a) 100 ccm: 1 Bakt., 2 Schimmel,

b) 250 ccm: 0 Bakt., 0 Schimmel,

c) 1000 ccm: 0 Bakt., 1 Schimmel.

Somit war erwiesen, daß sich unter den angewendeten Vorsichtsmaßregeln ein Schmutzwasser mit fast 2 Millionen Keimen in 1 ccm in verhältnismäßig kurzer Zeit keimfrei filtrieren läßt; denn die eine Bakterienkolonie sowie die Schimmelpilzansiedelungen stammten sicher aus der Luft; wäre das nicht der Fall gewesen, so hätte sich bei b und c ebenfalls ein Auftreten von Keimen bemerkbar machen müssen und zwar in vermehrter Anzahl.

Fig. 5.



A B

Durch die Filtration von einem Liter war aber nicht etwa die Leistungsfähigkeit des Filters erschöpft, denn es ließen sich danach noch weitere 2 Liter Schmutzwasser, ohne den Druck über 2,5 Atmosphären zu erhöhen, in 100 Minuten durchtreiben, der zweite nicht langsamer als der erste; je 1 Liter brauchte 50 Minuten. Leider unterblieb eine bakteriologische Prüfung der letzten Filtrate; daß aber auch sie keimfrei waren, läßt sich daraus schließen, daß das Asbestfilter selbst in seinen unteren Schichten keimfrei war.

Das Filter wurde nämlich gleich darauf aus dem Zylinder herausgehoben und auf seinen Schmutzgehalt untersucht. Dabei machte man eine Beobachtung, die recht geeignet war, den Gang, den die Flüssigkeit in einem solchen Filter nimmt, vor Augen zu führen und zu zeigen, warum mit dem alten

Siebkörper oder gar bloß durch Auflage von Asbest auf eine Siebplatte, wie sie schon W. Hesse gemacht hat, ein keimfreies Filtrat nicht erhalten werden kann.

Das Sielwasser wies bei der Entnahme eine starke Rotfärbung auf, die höchst wahrscheinlich aus dem städtischen Schlachthause stammte, in dessen Nähe die Entnahme erfolgt war. Die mikroskopische Untersuchung ließ auch Blutkörperchen erkennen. An der herausgenommenen Asbestschicht konnte man nun die Rotfärbung am ganzen äußeren Umfange bis hinab zum Grunde, überall, wo der Asbest dem Glase anlag, verfolgen; sie hörte auf, wo das Ausflußrohr der Siebdose anlag, stieg aber an diesem nicht mehr in die Höhe. Die Asbestschicht wurde mit sterilen Pinzetten an verschiedenen Stellen auseinandergerissen und in unterschiedlicher Tiefe auf ihren Keimgehalt geprüft, indem man mit sterilen Pinzetten Fasern herausnahm und auf Nährgelatine auslegte.

Aussaat am 23. Mai 1905 sofort nach der Herausnahme	Ergebnis der Plattenbesichtigung am:	
	25. Mai 1905	29. Mai 1905
Etwa 2 mm unterhalb der Oberfläche:	Die Hauptmasse der Asbestfasern keimfrei; am Ende einer Faser 3 Kolonien	Im ganzen 64 Keime
Etwa 6 mm unterhalb der Oberfläche:	Die Asbestfasern keimfrei; in der Gelatine eine gelbliche Kolonie	Schätzungsweise 100 Keime
Etwa 13 mm tief:	Nirgends Ansiedlungen zu sehen	Keimfrei

24 Stunden später wurden nochmals von anderen Stellen des Filters, die zu dem Zwecke erst durch Zerreißen mit Pinzetten freigelegt worden waren, Aussaaten gemacht.

Aussaat am 24. Mai 1905. 1 Tag nach der Herausnahme	Ergebnis der Plattenbesichtigung am:	
	25. Mai 1905	29. Mai 1905
Etwa 2 mm unterhalb der Oberfläche:	Alles voll Keime, meistens gelbliche Kolonien; Gelatine ganz verflüssigt u. stinkend	Ähnlich wie am 25. Mai
Etwa 6 mm unterhalb der Oberfläche:	Keine Ansiedlungen zu sehen	Keimfrei
Etwa 12 mm tief:	Die Mehrzahl der Asbestfasern keimfrei; in der umgebenden Gelatine mehrere Kolonien	Kleine, nur mikroskopisch deutlich sichtbare Kolonien über 100 an der Zahl

Bei dem faserigen Gefüge des Asbestes war es nicht möglich, die Tiefe, in der die Entnahme statthatte, genau zu bestimmen; denn da nicht alle Fasern wagerecht lagen, so mußte beim Herausziehen einzelner darauf gerechnet werden, daß sie aus verschiedenen Tiefen stammten. So kann es z. B. sehr leicht möglich gewesen sein, daß die am 23. Mai in etwa 6 mm Tiefe entnommenen Fasern bis nahe an die Oberfläche gereicht hatten; denn am anderen Tage, wo noch dazu die Keime unterdessen Gelegenheit gehabt hatten, sich in die verschiedenen Filterschichten hineinzubegeben, waren in 6 mm Tiefe keine zu entdecken. Nahe der Oberfläche hatten sie sich, das geht aus den Untersuchungen zweifellos hervor, reichlich vermehrt. Daß in 12 mm Tiefe am 24. Mai noch so viele Keime vorhanden waren, kommt daher, daß man hier wieder nahe einer Oberfläche, nämlich der unteren war, in deren Nähe ungenügend filtriertes Schmutzwasser hatte gelangen können.

Im ganzen läßt dieser Versuch erkennen, wenn er auch nicht ganz deutlich und einwandfrei dafür spricht, daß schon in wenigen Millimetern Tiefe die Hauptmasse der aufs Filter gebrachten Keime zurückgehalten worden ist. Dies bezieht sich nicht bloß auf die oberste horizontale Schicht, sondern auf alle Begrenzungsflächen des Filters, soweit sie der Wand des Zylinders anliegen, also auch der seitlichen und unteren, nur wird man natürlich bei der obersten ein etwas tieferes Eindringen der Keime erwarten müssen als bei den übrigen.

Auf die Beurteilung der in Tabelle 9 (S. 44) aufgeführten Zahlen wird des Genaueren in den nächsten Kapiteln eingegangen werden; hier soll lediglich von der Konstruktion des Filters und seiner bakteriologischen Leistung die Rede sein.

Das bisher gebrauchte Filter befand sich, wie erwähnt, in einem Glaszylinder. Nachdem es sich für derartige Untersuchungen als absolut leistungsfähig erwiesen hatte, kam es darauf an, es so herzustellen, daß es für praktische Zwecke leicht und ohne Störung gehandhabt werden konnte. Das ist natürlich bei Glas nur unvollkommen der Fall; denn durch die häufig erforderliche Sterilisierung wird das Material bald so angegriffen, daß sich viele Untersuchungen nicht mit ihm ausführen lassen. Der mit Asbest versehene Glaszylinder war

Tabelle 9.

17. Mai 1905. Sielwasser von 16°, entnommen 2^{20} h. nachmittags bei schönem Wetter.

Keimzahl in 1 ccm: 2860000.

Filtration unter Verwendung des flachen Siebkörpers.

Das Filtrat enthält noch 0, dann 15, dann 48 Keime in je 2 ccm Aussaat (vgl. S. 39).

	I unfiltriert	II Papier-filtrat	III Asbest-filtrat	Schwebestoffe = Differenz von: I u. III	Schwebestoffe = Differenz von: I u. II
Aussehen	stark trüb viele Schwebe-stoffe	trüb	klar etwas gelblich	—	—
Geruch	stinkend	faulig	etwas faulig	—	—
Abdampfrückstand . .	838,5	631,6	568,6	269,9	206,9
Glühverlust	438,0	332,2	293,3	144,7	105,8
Glührückstand . . .	400,5	299,4	275,3	125,2	101,1
Oxydierbarkeit . . .	286,7	209,1	159,7	—	—
Gesamtstickstoff. . .	55,2	45,7	41,4	—	—

23. Mai 1905. Sielwasser von 16°; entnommen 2 h. nachmittags bei trockenem Wetter.

Keimzahl in 1 ccm: 1960000 (vgl. S. 41).

Filtration unter Verwendung des pilzförmigen Siebkörpers.

Das Filtrat enthält 1, 0 und 0 Keime in je 2 ccm Aussaat.

	I unfiltriert	II Papier-filtrat	III Asbest-filtrat	Schwebestoffe = Differenz von: I u. III	Schwebestoffe = Differenz von: I u. II
Aussehen	stark trüb viele Schwebe-stoffe blutrot gefärbt	stark trüb rotgefärbt	klar farblos	—	—
Geruch	stinkend	stinkend	faulig	—	—
Abdampfrückstand . .	796,4	585,9	470,5	325,9	210,5
Glühverlust	370,5	275,1	205,4	165,1	95,4
Glührückstand . . .	425,9	310,8	265,1	160,8	115,1
Oxydierbarkeit . . .	204,3	172,5	122,9	—	—
Gesamtstickstoff . .	47,6	43,1	36,9	—	—

zwar jedesmal in den nicht geheizten Dampfapparat gebracht und dann erst das Wasser erwärmt und der Dampf entwickelt worden; auch wurde nach der Sterilisation bezw. nach dem Ablöschen der Flamme immer mehrere Stunden, allenfalls bis zum anderen Tage gewartet, damit das Filter langsam abkühlen konnte. Aber trotzdem muß man auf Beschädigung rechnen und bei dem angewandten hohen Druck ist ein Arbeiten mit derartigem Material immer bedenklich; mir ist ja glücklicherweise nie ein Unfall begegnet.

Es war unbedingt geboten, den Zylinder aus Metall herzustellen. Ein solcher hat nun freilich den Nachteil der Undurchsichtigkeit. Daß man die Höhe der Flüssigkeitssäule nicht sieht, kommt dabei weniger in Betracht. Denn man bemerkt an dem Durchtreten von Luft das Ende der Filtration, und die Nachfüllung kann aus einem Gefäß geschehen, das nicht mehr Flüssigkeit enthält, als der Zylinder faßt. Das Bedenken liegt vielmehr darin, daß man die Stopfung des Filters nicht kontrollieren kann und befürchten muß, daß kleine Hohlräume bleiben, durch welche mangelhaft filtrierte Flüssigkeit nach außen gelangen kann.

Es wurde deshalb die Anordnung zunächst so getroffen, daß der Zylinder in der Höhe der obersten Lage Asbest auseinandernehmbar gemacht wurde. Allein dieses erwies sich für die Folge nicht als erforderlich und es konnte tatsächlich ein Zylinder genommen werden ganz ähnlich jenem von Glas, weil, wie sich praktisch herausstellte, die Übung im Stopfen des Filters bald erlangt wird, sodaß eine Befürchtung in obiger Hinsicht dann grundlos ist. Es wurde nur darauf gesehen, daß zwischen dem Siebkörper und dem Zylindermantel so viel freier Raum blieb, daß man bequem mit einem Holzstabe eingehen und einstopfen konnte; dann legte sich die feuchte Asbestmasse von selbst in dichter Schicht rings um den Siebkörper. Schließlich wurde nur noch Vorsorge getroffen, daß sich die Asbestmasse nach der Filtration mühelos herausschieben ließ; zu dem Zwecke war die Weite des Zylinders nach oben zu allmählich bis zu 1 mm im Lichten vergrößert worden.

Ein derartiger Zylinder ist natürlich unbegrenzt haltbar; ebenso wird sich der Siebkörper wenig abnützen, wenn die Platte genügend dick ist, um den Druck auszuhalten.

Die Menge der einzustopfenden Asbestmasse beläuft sich auf etwa 30 g. Da sie nach Gebrauch durch Kochen in verdünnter Salzsäure oder durch Glühen wieder gereinigt werden kann, so sind die Betriebskosten eines solchen Filters tatsächlich sehr gering.

Wenn man bedenkt, daß ein Berkefeldfilter vor jedem Wiedergebrauch ausgeglüht oder im Autoklaven mehrere Stunden sterilisiert werden muß[1]) und dabei in seinem Gefüge beeinträchtigt wird, so daß zum mindesten eine Prüfung seiner Leistungsfähigkeit der eigentlichen Filtration vorangehen muß, so ist leicht einzusehen, daß trotz der Aufgabe, daß man das Filter selbst stopfen muß, die Handhabung eine ganz wesentlich einfachere und billigere ist. Die Stopfung des Filters erfordert nach erlangter Übung ungefähr 5—10 Minuten Zeit. Die Sterilisierung kann im strömenden Dampf geschehen, ist in $1^1/_2$ Stunden beendigt, und der Apparat ist sogleich gebrauchsfertig. Ich habe allerdings den strömenden Dampf immer 2 Stunden lang wirken lassen, nachdem ich einmal die Erfahrung gemacht hatte, daß ein zur Flußwasseruntersuchung gebrauchtes und einen Tag lang liegen gelassenes Filter sich durch einstündige Sterilisation nicht keimfrei machen ließ. Dieses Filter lieferte, nachdem es sterilisiert und 10 Tage lang mit Watte verschlossen, liegen geblieben war, ein keimreiches Filtrat; es mußte also während der Aufbewahrung eine Vermehrung und hiermit verbunden ein Durchwachsen von Keimen durch die Filtermasse erfolgt sein.

Man muß sich zum Grundsatz machen, ein Filter nach dem Gebrauch alsbald im Dampf zu sterilisieren; es dazu auseinander zu nehmen, ist nicht unbedingt erforderlich.

Am 27. Juni 1905 wurde für die Abscheidung der suspendierten Stoffe aus Flußwasser ein Filtrierzylinder aus Metall gewählt und zwar ebenfalls mit einem pilzförmigen Siebkörper (Fig. 5, A). Diesesmal stopfte ich jedoch den Asbest nur etwa 10—11 mm hoch über der höchsten Stelle des Siebkörpers fest, weil es sich durch verschiedene, hier nicht weiter erwähnte bakteriologische Prüfungen herausgestellt hatte, daß

---

[1]) E. Hofstädter. Über das Eindringen von Bakterien in feinste Kapillaren. Archiv für Hygiene 1905, Bd. 53, S. 214.

für das Zurückhalten der Bakterien eine 10 mm hohe Schicht Asbest vollkommen genügt.

Die Proben waren teils oberhalb Erlangens bei der Ortschaft Bruck, teils unterhalb Erlangens etwa 500 m von der Einmündung des städtischen Sielwassers entfernt, geschöpft.

Die Filtrationsdauer des Wassers von oberhalb war folgende:

Bei einem konstant gehaltenen Druck von 2,5 Atmosphären filtrierte der erste Liter in 20 Minuten hindurch; weitere zwei Liter brauchten unter den gleichen Bedingungen je 30 Minuten. In fast gleicher Weise verhielt sich das Wasser unterhalb; leider unterließ ich es, die Zeit genau aufzuschreiben.

Die bakteriologische Untersuchung ergab folgende Keimzahlen:

I. oberhalb:

a) im Rohwasser (40 Minuten nach der Entnahme ausgesät): 98125 Keime;

b) im Filtrate (Aussaat von je 2 ccm) nach Filtration von:
100 ccm: 1 Bakt., 1 Schimmel,
250 ccm: verdorben,
1000 u. mehr ccm: 1 Bakt., 2 Schimmel.

II. unterhalb:

a) im Rohwasser (28 Minuten nach der Entnahme ausgesät): 107450 Keime;

b) im Filtrate (Aussaat von je 2 ccm) nach Filtration von:
100 ccm: 0 Bakt., 2 Schimmel,
250 ccm: 0 Bakt., 0 Schimmel,
1000 u. mehr ccm: 0 Bakt., 0 Schimmel.

Im Rohwasser sind diesmal unterhalb mehr Keime gefunden worden als oberhalb, was nicht zu verwundern war; denn das Wasser war aus dem Arme der Regnitz entnommen, der das Sielwasser führte.

Das Ergebnis der chemischen Untersuchung ist in der folgenden Tabelle 10 zusammengestellt:

Tabelle 10.

I. Entnahme am 27. Juni 1905 (2^{50} h nachmittags): 2500 m oberhalb der Stadt bei der Brücke in Bruck bei trübem Wetter (Querschnittsprobe).
Wärme des Wassers 18°, der Luft 20°.
Barometerstand 739 mm; Pegelstand 65 cm.

	I unfiltriert	II Papier-filtrat	III Asbest-filtrat	Schwebestoffe = Differenz von:	
				I. u. III	I. u. II
Aussehen	schwach trüb	kaum trüb	klar	—	—
Abdampfrückstand . .	273,3	259,3	256,8	16,5	14,0
Glühverlust	47,0	40,1	40,3	6,7	6,9
Glührückstand . . .	226,3	219,2	216,5	9,8	7,1
Oxydierbarkeit . . .	25,0	21,8	19,0	—	—
Gesamtstickstoff . .	2,50	—	2,04	—	—

II. Entnahme am 27. Juni 1905 (4 h nachmittags): Etwa 500 m unterhalb der Sielmündung aus dem rechten Arm kurz vor der Vereinigung mit dem Hauptarm bei trübem Wetter (Querschnittsprobe).

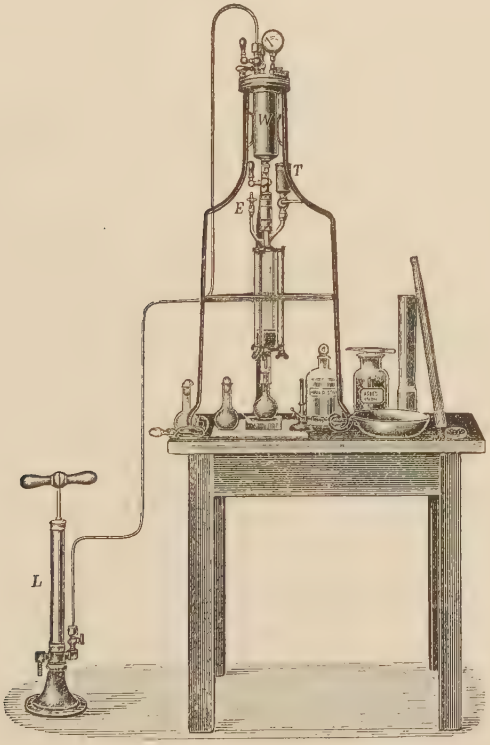
	I unfiltriert	II Papier-filtrat	III Asbest-filtrat	Schwebestoffe = Differenz von:	
				I u. III	I u. II
Aussehen	schwach trüb	etwas trüb	klar	—	—
Abdampfrückstand .	271,7	260,1	250,9	20,8	11,6
Glühverlust	52,6	47,5	41,0	11,6	5,1
Glührückstand . . .	219,1	212,6	209,9	9,2	6,5
Oxydierbarkeit . . .	30,4	22,3	20,1	—	—
Gesamtstickstoff . .	3,10	—	2,40	—	—

Das Asbestfilter in seiner verbesserten Anordnung.

Der Druckapparat.

Wenn jemand mit der im vorigen Kapitel beschriebenen Filteranordnung die suspendierten Stoffe im Wasser bestimmen will, so wird er sich mit Vorteil eines Druckapparates bedienen, weil bei Anwendung negativen Druckes z. B. mit einer Wasserstrahlluftpumpe die Filtration zu lange dauert.

Figur 6.



Unser Chamberlandapparat war ursprünglich für die Filtration kleiner Mengen Flüssigkeit durch Kieselgur- oder Porzellankerzen bestimmt gewesen; er bestand, wie die Figur 6 zeigt, aus einer Luftpumpe L und einem Windkessel W. Beide waren durch ein starkwandiges Kupferrohr verbunden, das verlängert wurde, damit man die Pumpe auf den Boden und

das Filter auf den Tisch stellen konnte. Der Windkessel besitzt auf seinem fest angeschraubten Dach außer dem Eingangsrohr für die Druckluft ein Manometer und ein mit Hahn versehenes Auslaßrohr ebenfalls für die Druckluft. Von dem Boden des Windkessels führt ein mit Hahn versehenes Rohrstück nach dem Filtrierzylinder.

Bei der Anordnung nach Chamberland ist das Filter unmittelbar an dieses Rohr angeschraubt. Das hat sich für unsere Versuche als unzweckmäßig erwiesen, weil es nicht möglich war, Flüssigkeit in den Filtrierzylinder nachzufüllen, ohne ihn jedesmal abschrauben zu müssen.

Für den Zylinder war auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. Heim von F. und M. Lautenschläger in Berlin ein eigenes Gehäuse gefertigt worden, bestehend aus 2 Metallplatten, verbunden durch ein Gestänge, zwischen denen der Filterzylinder eingeschraubt werden konnte. Durch die obere Metallplatte ließ man das Rohr für die Druckluft gehen, so daß es mehrere Millimeter weit in den Zylinder hineinragte. Außerhalb des Zylinders zweigte von diesem Rohr die Einfüllvorrichtung ab, bestehend aus einem mit Hahn versehenen Trichtergefäß T, das von einer Metallkappe bedeckt war, um Herausspritzen von Flüssigkeitstropfen zu vermeiden. Von der Deckplatte ging außerdem noch ein Entlüftungsrohr E nach oben, das ebenfalls mit Hahn verschließbar gemacht wurde.

Das Filter

besteht, wie mehrfach erwähnt, aus einem pilzförmigen Metallsiebkörper, dessen Ausflußrohr wie bei den Berkefeldkerzen durch den Boden des Zylinders hindurchgeht und innen mit einem Gummiring, außen mit einer Schraube gedichtet wird. Der Siebkörper ist so beschaffen, daß sich die Siebplatte in gehöriger Entfernung von dem Boden des Zylinders befindet, damit, wie das früher beschrieben ist, die Flüssigkeiten gezwungen werden — mögen sie von oben oder von unten kommen — die filtrierende Schicht zu durchsetzen, ehe sie auslaufen können.

Die Siebplatte ist für Untersuchungen, wie die vorliegenden, kuppelförmig, für Benutzung in engeren Zylindern fingerhutförmig (s. Fig. 5 B, S. 41) gestaltet. Damit die Filter-

schichte bei unvorsichtigem plötzlichem Nachlassen nicht gehoben wird, und damit ein Durchwandern von Keimen längs einer geraden Metallwand vermieden ist, besitzen die Siebkörper eine Einziehung des Halses und allenfalls eine vorspringende Leiste unterhalb des Siebteils.

Bei der Stopfung des Filters ist natürlich vor allem darauf zu achten, daß sich die Asbestmasse (eine andere, z. B. Cellulose, Watte hat sich bisher zu den Filtrierversuchen nicht geeignet erwiesen) lückenlos um den Siebkörper unten, seitlich und oben herumlegt. Über dem höchsten Punkt soll sie eine etwa 1 cm hohe Schicht einnehmen.

Die Siebkörper werden in den verschiedenen Größen von der Firma F. und M. Lautenschläger nach den Angaben von Herrn Professor Dr. Heim hergestellt, je nachdem sie für kleine oder große Mengen Flüssigkeit dienen sollen.

Der Asbest; seine Reinigung und Aufbewahrung.

Die für die Herstellung der Filter benutzte Asbestfaser erhielt ich teils von einem hiesigen Kleinhändler, teils von einer Großhandlung. Am besten eignet sich eine Faser von etwa 20—40 mm Länge; sie muß sich möglichst weich anfühlen und darf keine Nebenbestandteile enthalten. Ganz kurzfaseriger Asbest ist unbrauchbar, denn er läßt sich nicht zu einer zusammenhängenden Masse feststopfen, ist nicht imstande, feine suspendierte Teile zurückzuhalten und geht zum Teil durch die Löcher des Siebkörpers hindurch. Anderseits eignet sich auch ein sehr langfaseriger Asbest nicht. Ich habe es mit der teuersten Marke von E. Merck versucht, die als „feinster langfaseriger Seidenasbest“ bezeichnet war. Die etwa 200 mm langen Fasern waren zu mehr oder weniger festen Bündeln zusammengeklebt und ließen sich auch im Wasser nicht voneinander lösen. Dadurch wurde eine zweckentsprechende Ineinanderlagerung vereitelt; es entstanden zu große Hohlräume, ein Umstand, der sich auch bei dem mit der Schere zerkleinerten Material nicht beseitigen ließ; Sielwasser war nach der Filtration noch erheblich trübe.

Ferner soll der Asbest frei von kleinen Steinchen oder andern groben Beimengungen sein; sind sie in größerer Menge vorhanden, so läßt sich das Material überhaupt nicht ge-

brauchen. Schmutzteile, anorganische Verunreinigungen wie Eisen und dergleichen müssen durch geeignete Behandlung entfernt werden. Es genügt Auskochung mit mäßig konzentrierter Salzsäure. Danach wird mit heißem Wasser gewaschen, bis die letzten Spuren von Salzsäure entfernt sind, was mit Hilfe von Lackmuspapier oder Silbernitrat leicht erkannt werden kann. Eine Ausglühung und nachherige Behandlung mit konzentrierter Salzsäure, wie sie Treadwell[1]) in seinem Lehrbuch vorschreibt, unterließ ich, weil es sich lediglich um Ausschaltung der wasserlöslichen Stoffe, aber nicht um eine Verwendung zur quantitativen chemischen Analyse handelte.

Im einzelnen verfuhr ich folgendermaßen:

Eine größere Menge Asbest wird in einer Porzellanschale mit verdünnter Salzsäure (1 : 4 Wasser) übergossen, zugedeckt und auf dem siedenden Wasserbade etwa 2 Stunden lang unter öfterem Umrühren erwärmt. Hierbei tritt meist infolge Eisengehaltes eine Rotbraunfärbung ein, die bei manchem, insbesondere billigerem Material recht erheblich sein kann. Danach wird die Säure durch reichliches Waschen entfernt, indem die Asbestmasse in heißem Wasser verrührt und dieses mittels eines Filtersackes aus grobem Tuche (etwa 50 Maschen auf 1 qcm) mit der Hand abgepreßt. Diese Prozedur muß zwei- bis dreimal wiederholt werden, bis das abfließende Wasser Lackmuspapier nicht mehr rötet. Endlich werden die Fasern in der gleichen Weise noch zweimal mit destilliertem Wasser behandelt, nach dem letzten Auspressen auf Filtrierpapier ausgebreitet und der Trocknung überlassen. Man kann sie auch feucht aufbewahren, indem man sie noch naß in eine Pulverflasche mit eingeriebenem Stopfen füllt und eine kleine Menge Chloroform zugibt, um Bakterienentwicklung zu verhindern. — Zum Gebrauch wird die Masse in einer Porzellanschale mit destilliertem Wasser übergossen und das Chloroform über dem Wasserbade verjagt. Getrockneter Asbest wird mit möglichst viel Wasser so lange eingeweicht, bis die Fasern ihre frühere geschmeidige Beschaffenheit wiedererlangt

[1]) F. P. Treadwell, Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie, Leipzig und Wien bei Franz Deuticke, 2. Aufl. 1903, Bd. II S. 20.

haben, was in der Regel bald der Fall ist, durch Erwärmen auch beschleunigt werden kann.

Die Stopfung des Filters.

Die so vorbereiteten, in Wasser aufgeschwemmten Asbestfasern werden mit einem flachen Holzstabe oder einer Pinzette in den Filtrierzylinder gebracht, wobei aber gleichzeitig auch soviel Wasser mit übertragen werden muß, daß die Stopfung stets unter Wasser geschehen kann. Mit einem flachen, am Ende spatelförmig gespitzten Stopfer aus Holz wird zuerst der Zwischenraum zwischen Gefäßwandung und Siebkörper mit Asbest ausgefüllt und derart ausgestopft, daß etwaige, wenn auch noch so kleine Lücken oder Hohlräume ausgeschaltet sind. Reichen die anfänglich eingebrachten Fasern für die Stopfung des Filters nicht aus, so müssen neue hinzugegeben werden, bevor noch die ersten endgültig zusammengedrückt sind, sonst entstehen leicht isolierte Schichten, was unbedingt zu vermeiden ist; die Fasern sollen vielmehr dicht miteinander verfilzt sein. Man stopft unter Wasser weiter, bis die Filtermasse schätzungsweise 15 mm über der höchsten Stelle des Siebkörpers steht. Nun nimmt man einen zweiten runden Stopfer, der ungefähr die Weite des Filtrierzylinders besitzt und preßt mit diesem die gesamte Asbestschicht so fest als möglich zusammen. Dabei hält man den Zylinder mit seiner oberen Öffnung schräg nach unten, damit das überschüssige Wasser ablaufen kann. Scheint die Filtermasse stellenweise noch nicht fest genug eingedrückt zu sein, so kann man wieder mit dem ersten Stopfer nachhelfen und beliebig fest einpressen; durch nachträgliches Zusammendrücken der gesamten Asbestmasse mit Hilfe des runden Stopfers erhält das Filter wieder eine gleichmäßige und glatte Oberfläche. — Die gut zusammengedrückte Asbestschicht soll schließlich etwa 10 mm über dem höchsten Punkt des Metallsiebes stehen. Oben auf die Filterschichte legt man eine Scheibe Filtrierpapier und eventuell auch noch eine Siebplatte aus Porzellan oder Metall, damit die eingefüllte Flüssigkeit das Gefüge der obersten Schicht nicht schädigt.

Das fertiggestopfte Filter muß eine gleichmäßige verfilzte Asbestmasse darstellen. Es dürfen nirgends Lücken oder

Hohlräume vorhanden sein. Darum ist es gut, sich zuerst immer mit Glaszylindern einzuüben, ehe man an die Stopfung von Metallzylindern geht. Dem Anfänger ist ferner zu raten, vorher eine reine Flüssigkeit, etwa gutes Leitungswasser oder destilliertes Wasser, durchzuschicken, weil man an dem Aussehen des Filtrates die Güte des Filters beurteilen kann. Ist die Stopfung richtig vollzogen, dann dürfen höchstens im Anfange kleine Luftblasen auftreten, deren Reichlichkeit abnimmt, die jedoch nicht vollständig zu verschwinden brauchen. Ein ungenügend gestopftes Filter wird dagegen während der ganzen Filtrationsdauer reichlich große und kleine Luftblasen erscheinen lassen. Erweist sich ein Filter bei diesem Versuch zu durchlässig, so läßt es sich vielleicht noch in Ordnung bringen, wenn man es vom Apparat abnimmt und nochmals der Wand entlang mit einem Holzstopfer ringsum fest einpreßt. Meistens wird es jedoch geraten sein, die Asbestmasse herauszunehmen, von neuem mit Wasser aufzuschwemmen und frisch zu stopfen. Bei einiger Übung wird man aber selten dazu genötigt sein und man wird stets in einigen Minuten ein gut brauchbares Filter herstellen können.

Die Sterilisierung.

Zur Sterilisierung wird der Filtrierzylinder oben und unten mit Watte verschlossen; dabei ist unten eine Metallplatte, die zum Anschluß an den Druckapparat dient, bereits mit dem Zylinder verbunden. Außerdem wird das Ausflußrohr nach W. Hesse durch einen Stopfen gesteckt und an diesem ein weiterer Glaszylinder befestigt, um Staubteilchen und Schimmelpilzkeime vom Filtrat abzuhalten. Die untere Öffnung dieses Glasmantels wird ebenfalls mit Watte verstopft.

In dieser Weise hergerichtet, übergibt man das Ganze dem Dampfapparat, heizt an und wartet vom Ausströmen des Dampfes an gerechnet etwa $1^1/_2$ Stunden. Das nach dem Erkalten herausgenommene Filter kann nun tagelang aufbewahrt werden, weil die Asbestschicht nicht so rasch eintrocknet.

Diese Art der Sterilisierung war in unseren Fällen, wo wir uns über die Brauchbarkeit des Filters vom wissenschaftlichen Standpunkte aus zu vergewissern hatten, unbedingt geboten. Wir haben ja auch das Filter nicht allein zu chemischen,

sondern auch zu bakteriologischen Untersuchungen gebraucht, über die zu berichten nicht im Rahmen dieser Arbeit liegt.

Es fragt sich nun, soll eine derartige Sterilisierung auch für die Praxis des Chemikers gefordert werden, der über die Menge der schwebenden und schwimmenden Stoffe im Wasser Untersuchungen anstellen will?

Wir glauben, daß man davon Umgang nehmen kann, fordern jedoch, daß

1. die Stopfung des Filters mit einem ausgekochten Asbest und mit frisch gekochtem destillierten Wasser vorgenommen wird;

2. daß bei der Einbringung und Stopfung der Asbestmasse die Berührung des Materials mit den Fingern vermieden wird.

Das sind zwei leicht erfüllbare Postulate; wir haben den Asbest nie mit den Fingern angefaßt, trotzdem daß wir nachträglich sterilisiert haben.

Eine Sterilisierung ist natürlich notwendig, wenn sich jemand durch bakteriologische Aussaaten überzeugen will, ob das von ihm gestopfte Filter wirklich keimfrei filtriert.

Auch ist es selbstverständlich, daß das Filter vor der Filtration mit einigen hundert ccm ausgekochten destillierten Wassers durchgespült werden muß, damit die Asbestflöckchen, die sich noch loslösen können, vorher beseitigt werden. Übrigens kann man das Filtrat zur Sicherheit rasch durch Papier filtrieren, wenn es z. B. für die Bestimmung des Abdampfrückstandes gebraucht werden soll.

Nach dem Gebrauch muß das Filter sofort im Dampf sterilisiert werden, damit sich die bald eintretenden Zersetzungen nicht in einer späterhin störenden Weise breit machen können. Es dazu zu zerlegen, ist nicht unbedingt erforderlich; will man aber die Beschaffenheit des Rückstandes studieren und ihn wenigstens qualitativ unter dem Mikroskop untersuchen, so muß man das Filter herausnehmen. Dieses empfiehlt sich auch, wenn in der zu filtrierenden Flüssigkeit besonders widerstandsfähige Sporen zu erwarten sind, weil man den leeren Zylinder und den herausgenommenen Asbest leichter sterilisieren kann. Der Bakteriologe wird den Zylinder, der nicht geglüht werden kann, wie der Asbest, öfters der trocknen

Sterilisation bei 160° unterwerfen; der Chemiker wird, wenn er nicht nachträglich bakteriologische Untersuchungen des Filtrates vornehmen will, mit einer gründlichen Ausscheuerung eine genügende Reinigung erzielen.

Untersuchungsergebnisse.

Suspendierte Stoffe.

Die nachfolgende Tabelle 11 enthält die schon früher bei den einzelnen Versuchen aufgeführten Analysenzahlen für suspendierte Stoffe in übersichtlicher Zusammenstellung. Es sind dabei die Untersuchungen mit Flußwasser getrennt von denen mit Sielwasser aufgeführt, ferner ist eine Scheidung des Suspendierten in seinem Gehalt an Organischem und Anorganischem getroffen. Dazu ist zu erwähnen, daß die im November 1904 gemachten Untersuchungen noch mit dem Berkefeldfilter ausgeführt worden sind und zwar die Flußwasseruntersuchung vom 19. Nov. 1904 ohne weiteres; am 28. Nov. 1904 (Sielwasseruntersuchung) war die Berkefeldkerze mit Sand und Asbest überschichtet gewesen.

Daß die Menge der vom Berkefeldfilter zurückgehaltenen Schwebestoffe die höchste von allen Fällen (42,1 %) war, ist ein Zufall; denn bei der Filtration durch Kieselgur zusammen mit Asbest ergaben sich nur 27,3 %. Die Zahlen können ohne weiteres mit hereingerechnet werden, wenn es sich darum handelt, zu erkennen, wie viel Schwebestoffe von dem Fließpapier zu wenig zurückgehalten worden sind.

Als Hauptergebnis der Untersuchungen tritt hervor, daß mit der keimfreien Filtration im Durchschnitt aus sämtlichen Werten 29,9, also rund 30 % mehr suspendierte Stoffe nachgewiesen werden können, als mit der gebräuchlichen Filtration durch Fließpapier. Es stimmt das mit einer Bemerkung von M. Rubner überein, der im Archiv für Hygiene Bd. 46 S. 17 sagt: „Es gibt Fälle, in denen man über 30 % von dem Suspendierten durch die Papierfiltration nicht zurückzuhalten vermag, wenn nämlich überhaupt nur fein verteiltes Material vorliegt.“

Es ist an jener Stelle nicht ausgesprochen, auf Grund welcher Versuche dieses Ergebnis gewonnen wurde, sondern nur gesagt: „Bessere Resultate geben Hartfilter bei starkem

Tabelle 11.

		Tag der Probenentnahme	Suspendierte Stoffe. a) auf Asbest zurückgeblieben	b) auf Papier zurückgeblieben	auf Papier zu wenig zurückgehalten	c) feinste suspend. Stoffe
A. **Flufswasser** oberhalb Erlangens:	I. **Gesamtzahl**	19. XI. 04.	50,6	29,3	42,1 %	21,3
		28. II. 05.	30,1	21,3	29,2 „	8,8
		18. III. „	40,4	29,2	27,7 „	11,2
		27. VI. „	16,5	14,0	15,1 „	2,5
	II. Glühverlust (organisches)	19. XI. 04.	19,0	9,8	—	9,2
		28. II. 05.	13,1	9,1	—	4,0
		18. III. „	15,8	10,8	—	5,0
		27. VI. „	6,7	6,9	—	(—0,2)
	III. Glührückstand (anorganisches)	19. XI. 04.	31,6	19,5	—	12,1
		28. II. 05.	17,0	12,2	—	4,8
		18. III. „	24,6	18,4	—	6,2
		27. VI. „	9,8	7,1	—	2,7
unterhalb Erlangens:	I. **Gesamtzahl**	10. II. 05	47,6	35,9	24,5 %	11,7
		28. II. „	33,4	22,6	32,3 „	10,8
		18. III. „	44,3	31,9	28,0 „	12,4
		27. VI. „	20,8	11,6	44,2 „	9,2
	II. Glühverlust (organisches)	10. II. 05.	17,9	10,8	—	7,1
		28. II. „	15,0	9,8	—	5,2
		18. III. „	17,9	12,2	—	5,7
		27. VI. „	11,6	5,1	—	6,5
	III. Glührückstand (anorganisches)	10. II. 05.	29,7	25,1	—	4,6
		28. II. „	18,4	12,8	—	5,6
		18. III. „	26,4	19,7	—	6,7
		27. VI. „	9,2	6,5	—	2,7
B. **Sielwasser**	I. **Gesamtzahl**	28. XI. 04	440,0	319,5	27,3 %	120,5
		17. V. 05.	269,9	206,9	23,3 „	63,0
		23. V. „	325,9	210,5	35,4 „	115,4
	II. Glühverlust (organisches)	28. XI. 04	292,6	211,9	—	80,7
		17. V. 05.	144,7	105,8	—	38,9
		23. V. „	165,1	95,4	—	69,7
	III. Glührückstand (anorganisches)	28. XI. 04.	147,4	107,6	—	39,8
		17. V. 05.	125,2	101,1	—	24,1
		23. V. „	160,8	115,1	—	45,7

negativem Druck.“ Das soll nach dem Zusammenhang offenbar heißen, die Papierfilter geben Fehler bis zu 30%; bei den Hartfiltern ist der Fehler nicht so groß.

Ich wollte mich davon überzeugen, inwieweit gehärtete Papierfilter gegenüber Asbest an Leistungsfähigkeit zurückbleiben, nahm aber davon Abstand, als ich sah, wie langsam sogar Flußwasser, das noch lange nicht die Schlammniederschläge eines Sielwassers hat, durch ein „gehärtetes Filter“ von Schleicher und Schüll Nr. 575 selbst bei Anwendung negativen Druckes hindurchzubringen war. Ich beschränkte mich auf die Feststellung der Zeit in einem, auf die Keimzahlbestimmung in einem anderen Falle.

Filtrationsversuche mit gehärteten Filtern.

An der Trichterwand glatt anliegendes im Durchmesser 15 cm großes Filter.

6. Juli 1905:

a) Flußwasser oberhalb der Stadt (mit Chloroform konserviert): 400 ccm filtrieren freiwillig in 2 Stunden 25 Minuten. — Hierauf Ansetzung der Wasserstrahlluftpumpe: Weitere 250 ccm filtrieren in 1 Stunde 3 Minuten.

b) Flußwasser unterhalb (mit Chloroform konserviert): 500 ccm gehen bei Anwendung der Wasserstrahlluftpumpe in 1 Stunde 50 Minuten hindurch. Das Filtrat ist noch schwach opaleszierend, im Gegensatz zum Filtrat der Probe von oberhalb, das klar ist.

20. Juli 1905.

Flußwasser oberhalb der Sielmündung entnommen. Keimgehalt 128100 in 1 ccm. Durch das im Dampf sterilisierte Filter gehen freiwillig 100 ccm in 19 Minuten hindurch. — Keimgehalt des Filtrates: 78840 in 1 ccm.

Daraus geht hervor, daß die Anwendung eines gehärteten Filters für derartige Untersuchungen absolut unzweckmäßig ist. Es ist selbstverständlich, daß ein gehärtetes Filter mehr Schwebestoffe zurückhalten wird, als gewöhnliches Papier; aber man erreicht gar nichts Sicheres und die Ergebnisse lassen

sich dann überhaupt nicht mehr vergleichen. Denn es wird nicht kontrolliert, wie viel ein gehärtetes Filter mehr zurückhält, als ein gewöhnliches Papierfilter; beide leisten Ungenügendes, und dabei hat das gehärtete Filter noch den Nachteil, daß, wenn man nicht konserviertes Wasser nimmt, sich bei langdauernder Filtration Umsetzungen in den Proben geltend machen müssen.

Wer ein richtiges und zuverlässiges Ergebnis erhalten will, der ist auf die Verwendung von Asbestfiltern angewiesen, und da alle anderen Methoden falsche Zahlen liefern, so ist die Forderung selbstverständlich, daß in Zukunft alle Untersuchungen mit dem Asbestfilter gemacht werden müssen.

Mit Hilfe der Asbestfilter lassen sich gerade die Stoffe, auf die es bei der Beurteilung einer Flußverunreinigung und eines Sielwassers am meisten ankommt, nämlich die feinsten Schwebestoffe in ihrer Menge richtig erkennen.

Feinste Schwebestoffe befanden sich in unserem Falle durchschnittlich im Liter Sielwasser 99,6 mg (als Trockensubstanz bestimmt); im Flußwasser oberhalb der Stadt 10,95, unterhalb 11,0 mg.

Wenn man die Verhältnisse von oberhalb und unterhalb vergleichen will, so ist von den vier in der Tabelle 11 aufgeführten Untersuchungen je die erste auszuschalten, weil die Proben zu verschiedenen Zeiten und zwar oberhalb am 19. Nov. 1904, unterhalb am 10. Febr. 1905 geschöpft waren. Zieht man nunmehr den Durchschnitt aus den drei übrigen Untersuchungen, so kommen für oberhalb 7,5, unterhalb 10,8 mg feinster suspendierter Stoffe heraus.

Wäre immer im Strome des Sielwassers untersucht worden, so wäre vielleicht der Ausfall deutlicher gewesen; alle meine Entnahmen sind aber im Querschnitte des Flusses gemacht worden und hier hat auch die bakteriologische Untersuchung (siehe Seite 9) keine großen Unterschiede ergeben. Die Keimzahl war unterhalb nicht viel größer als oberhalb; ja sehr oft sogar geringer.

Schließlich ist eben die Bestimmung des Keimgehaltes die einfachste und kürzeste Methode, um eine Orientierung über den Verunreinigungsgrad eines Vorfluters zu bekommen. Um einen Einblick ins einzelne zu erhalten, wird man natürlich

die chemisch-physikalische Untersuchung nicht umgehen können, und da hat sich denn wieder die Filtrationsmethode mit Asbest dem bisher üblichen Verfahren überlegen gezeigt.

Während sich nämlich mit der Papierfiltration im Durchschnitt aus den drei Untersuchungen oberhalb 21,5, unterhalb 22,0 mg, also eine Mehrung um 0,5 mg herausbringen lassen, ergab sich mit der Asbestfiltration, die wirklich feinste suspendierte Stoffe erkennen läßt, oberhalb ein durchschnittlicher Gehalt von 7,5, unterhalb ein solcher von 10,8 mg, somit eine Mehrung von 3,3 mg pro Liter.

Unter feinsten suspendierten Stoffen verstehen wir jetzt diejenigen, die noch durchs Filtrierpapier hindurchgehen und überhaupt nur mit der Asbestfiltration nachgewiesen werden können.

Man kann natürlich diese feinsten suspendierten Stoffe noch weiter trennen nach Anorganischem und Organischem. Für die Beurteilung unseres Flußwassers kam dabei nichts Faßbares heraus; denn die Zahlen waren an und für sich so klein, daß unvermeidliche Fehlerquellen beträchtlich stören mußten. So ist z. B. bei der Untersuchung vom 27. Juni oberhalb ein solcher Versuchsfehler vorhanden.

Zieht man trotzdem den Durchschnitt, so würde oberhalb das Anorganische (4,5 : 6,45), unterhalb das Organische etwas überwiegen (6,1 : 4,9).

Deutlichere Ausschläge kann man natürlich von den großen Zahlen erwarten, wie sie im Sielwasser erhalten werden. Hier berechnet sich der Durchschnitt der drei Untersuchungen, wie erwähnt, auf 99,6 mg pro Liter, und diese feinsten suspendierten Stoffe bestanden zu 63,1 mg aus Organischem und 36,5 mg Anorganischem.

Oxydierbarkeit.

Kaliumpermanganat oxydiert organische Verbindungen weder gleichmäßig noch vollständig und wird auch von anorganischen Verbindungen wie Eisenoxydulsalzen, Nitriten, Sulfiten, Schwefelwasserstoff und größeren Mengen von Ammoniaksalzen reduziert[1]). In Ermangelung besserer Methoden

[1]) Tiemann-Gärtners Handbuch Seite 274 ff. — Die genannten anorganischen Verbindungen fehlten zum Teil in unserem Flußwasser ganz, zum Teil waren sie nur in Spuren vorhanden.

wird die Bestimmung noch ausgeführt, da sie zur Abschätzung des Reinheitsgrades eines Wassers mit dienen kann. Sie liefert beim Nachweis einer Flußverunreinigung nicht selten neben der Bestimmung der suspendierten Stoffe einen größeren, verwertbaren Ausschlag. Das traf z. B. für die hiesigen Verhältnisse zu. Bei den von W. Preu ausgeführten Untersuchungen über die Einwirkung des Erlanger Sielwassers auf die Regnitz in der Nähe der Sielmündung hatte die Bestimmung der suspendierten Stoffe, sowie des Permanganatverbrauchs unter allen ausgeführten Analysen die größten Unterschiede ergeben.

Wie suspendierte Stoffe die Oxydierbarkeit beeinflussen, ist bereits Seite 25 in einem Versuch mit Sielwasser unter Benutzung des Asbest-Berkefeldfilters gezeigt worden, weitere Beispiele folgen S. 63 ff.

Aus einem trüben Wasser pflegte man bisher zur Bestimmung der Oxydierbarkeit die suspendierten Stoffe durch Filtration zu entfernen. Aber man folgte dabei keiner allgemein gültigen Regel. Teilweise wollte man die Oxydierbarkeit nur auf gelöste organische Stoffe bezogen wissen, teilweise ließ man von vornherein größere oder geringere Mengen suspendierter Stoffe zu. Die gebräuchlichen Lehr- und Handbücher enthalten keine übereinstimmenden Vorschriften.

Im Handbuche von Tiemann-Gärtner, sowie in K. B. Lehmanns „Methoden der praktischen Hygiene“ und in der „Anleitung zu hygienischen Untersuchungen“ von R. Emmerich und H. Trillich ist keine Filtration verlangt.

Farnsteiner, Buttenberg und Korn geben in ihrem Leitfaden auf Seite 4 die Anweisung, man solle das Wasser durch ein großes Faltenfilter filtrieren und das mit Schwefelsäure konservierte Filtrat für die Bestimmung benutzen[1]).

---

[1]) H. Große-Bohle fand auch Chloroform zur Konservierung der Wässer für die Bestimmung der Oxydierbarkeit geeignet, wenn das Wasser so konzentriert ist, daß man nicht mehr als 10 ccm für diese Bestimmung benötigt. (Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, 1903, Heft 20 Seite 60).

Ich habe die Konservierung stets mit 2 ccm 25proz. Schwefelsäure auf 1 Liter vorgenommen.

In den „Vereinbarungen“[1]) ist hinsichtlich der Oxydierbarkeitsbestimmung in trüben Wässern erwähnt, man solle das Wasser, falls es sich nicht bald klärt, durch geglühten Asbest filtrieren. Eine Konservierung des Wassers wird dort nicht erwähnt; was unter einer Klärung verstanden sein soll, ist nicht näher bezeichnet. Vermutlich ist darunter Stehenlassen bis zum Klarwerden, also eine freiwillige Sedimentierung verstanden; dabei vergeht aber immer so viel Zeit, daß sich unterdessen Zersetzungsvorgänge abspielen müssen, wonach natürlich der Permanganatverbrauch herabgesetzt sein wird. Proskauer und Thiesing[2]) konnten z. B. im Drainwasser der Charlottenburger Rieselfelder in einem Falle schon nach zwei Tagen eine Abnahme der Oxydierbarkeit von 42 % nachweisen. In nicht konserviertem Erlanger Sielwasser habe ich feststellen können, daß nach viertägigem Stehen der Permanganatverbrauch bedeutend gesunken war und zwar von 340,1 auf 233,6 mg; die Abnahme betrug also 106,5 mg oder 31,3 % (siehe auch Tabelle 5 A und B).

Somit ist die freiwillige Klärung des Wassers als Vorbereitung für die in Rede stehende Bestimmung nur zulässig, wenn man ein Konservierungsmittel angewendet hat. Allein man erreicht mit ihr nichts Bestimmtes; im Gegenteil, die Klärung des Wassers wird sowohl durch Schwefelsäurezusatz, als auch und zwar in ganz erheblichem Maße durch Chloroform verlangsamt, wie Seite 15 bei der Bestimmung der suspendierten Stoffe bereits dargelegt ist.

Wenn man wissen will, wie viel die gelösten Stoffe ausschließlich für sich an Kaliumpermanganat beanspruchen, so muß man die schwebenden bis auf die kleinsten ausschalten, und das gelingt, wie gesagt, nur durch die keimfreie Filtration.

Bloß die „Vereinbarungen“ entsprechen mit der von ihnen verlangten Filtration durch geglühten Asbest annähernd den

[1]) Vereinbarungen zur einheitlichen Untersuchung und Beurteilung von Nahrungs- und Genußmitteln sowie Gebrauchsgegenständen für das Deutsche Reich. Berlin 1899, Heft II Seite 152.

[2]) Proskauer und Thiesing, Bericht über die Versuche, die in der Kläranlage Karolinenhöhe, System Oxydationsverfahren bisher angestellt wurden. Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin und öffentliches Sanitätswesen, 1901, Band 21 Supplement, Seite 230.

Anforderungen. Nachdem sie aber nicht ausdrücklich für jeden Fall verlangt ist, und andere Lehrbücher und dergl. nichts von ihr sagen, sondern nur die Papierfiltration verlangen, oder gar keine, so darf man wohl annehmen, daß allgemein die Asbestfiltration nicht in Gebrauch, sondern gerade das Gegenteil der Fall ist. Wer die von Farnsteiner, Buttenberg und Korn aufgeführte Papierfiltration benutzt in der Absicht, die gröberen schwebenden Teile auszuschalten und das Auftreten der Rotfärbung durch Permanganat besser beobachten zu können, erzielt lediglich Unschärfen der Bestimmung, denen zweierlei Fehler zugrunde liegen:

1. die Beschaffenheit der Papiere, die, abgesehen von der Anordnung als glattes oder Faltenfilter, lediglich durch die verschiedene Porengröße verschieden viel Schwebendes zurückhalten;

2. die teilweise Durchlassung von suspendierten Stoffen, die je nach ihrer Art und Menge in verschiedener Weise und mit verschiedener Schnelligkeit von Kaliumpermanganat angegriffen werden, so daß auch bei Einhaltung einer bestimmten Kochzeit unterschiedliche Ergebnisse herauskommen müssen.

Über den ersten Punkt gibt die folgende Untersuchung von zwei Proben Aufschluß, von denen die eine oberhalb Erlangens bei der städtischen Badeanstalt, die andere unterhalb vor der Einmündung der Schwabach beide Male durch den ganzen Flußquerschnitt entnommen worden waren; die Wärme des Wassers betrug 6,5°, die der Luft 11°; das Wetter war heiter. Die Tabelle 12 enthält die Ergebnisse mit zwei Filtrierpapiersorten, von denen die eine zu gewöhnlichen Zwecken, die andere, weil sie quantitativ langsamer arbeitet, nur in besonderen Fällen z. B. zur Herstellung von Bouillon für bakteriologische Zwecke im Institut im Gebrauch ist.

Das dichtere Papier hat, wie vorauszusehen war, mehr suspendierte Stoffe aus dem Wasser beseitigt, als das gewöhnliche; aber beide leisteten Unvollständiges. Das dichtere Papier hat im Wasser A 15,8 % in B 10,5 % weniger suspendierte Stoffe durch die Oxydierbarkeit angezeigt, als das Asbestfilter; das gewöhnliche Papier lieferte hingegen im einen Falle 23,7, im anderen sogar 27,9 % zu wenig.

Tabelle 12.

Tag der Entnahme 18. III. 05.	Kaliumpermanganatverbrauch: im Rohwasser	im Asbestfiltrat	im Papierfiltrat a) dichtere Sorte	im Papierfiltrat b) gewöhnl. Papier	für Schwebestoffe bei Filtration durch: Asbest	für Schwebestoffe bei Filtration durch: Papier dichtere Sorte	für Schwebestoffe bei Filtration durch: Papier gewöhnliches	zuviel bei Papierfiltration a) dichtere Sorte	zuviel bei Papierfiltration b) gewöhnliches
A. oberhalb	17,5	9,9	11,1	11,7	7,6	6,4	5,8	1,2 = 15,8 %	1,8 = 23,7 %
Aussehen des Wassers	schwach trüb	klar	wenig opalesz.	opalesz.	—	—	—	—	—
B. unterhalb	18,5	9,9	10,8	12,3	8,6	7,7	6,2	0,9 = 10,5 %	2,4 = 27,9 %
Aussehen des Wassers	schwach trüb	klar	fast klar	opalesz.	—	—	—	—	—

Was nun den zweiten Punkt betrifft, so habe ich bei einigen Flußwasserproben doppelte Bestimmungen ausgeführt und das eine Mal schneller, das andere Mal langsamer die endgültige Rosafärbung durch Titrierung der überschüssigen Oxalsäure mit Kaliumpermanganatlösung herbeigeführt. Ich bemerke, daß das Wasser mit Kaliumpermanganatlösung genau nach der Vorschrift von G. Walter und A. Gärtner (Handbuch Seite 278) 10 Minuten lang im Sieden gehalten worden war.

Dabei ergab sich, wie Tabelle 13 zeigt, daß bei Rohwasser und bei dem durch Papier filtrierten Wasser ein gleichmäßiger Kaliumpermanganatverbrauch mit Sicherheit nicht zu erzielen war; genaue Übereinstimmung wurde nur in der Flüssigkeit erhalten, die von allen suspendierten Stoffen befreit war.

In diesen Versuchen haben die im Wasser gelösten organischen Stoffe recht gleichmäßig auf Kaliumpermanganat eingewirkt. Es läßt sich daraus die allgemeine Folgerung ableiten, daß die Oxydierbarkeitsbestimmung sich nur auf Gelöstes und auf sonst nichts anderes beziehen soll. Aber bei keiner anderen Filtrationsmethode, als der durch Asbest in

der beschriebenen Anordnung bringt man die suspendierten Stoffe vollständig heraus[1]).

Tabelle 13.

Oxydierbarkeitsbestimmung im Flußwasser am 14. März 1905.

Temperatur des Wassers + 5°, der Luft 10°. Wetter: schön.

A. Oberhalb Erlangens: Stichprobe; aus der Mitte vor der Schmidt'schen Insel entnommen.

	Rohwasser	Papierfiltrat	Asbestfiltrat
Aussehen des Wassers	etwas trüb	kaum trüb	klar
Erste Bestimmung	14,9	12,4	8,0
Zweite Bestimmung	15,4	12,1	8,0

B. Unterhalb der Sielmündung: Stichprobe; aus der Mitte des rechten Armes, etwa 100 m von der Sielmündung entfernt geschöpft.

	Rohwasser	Papierfiltrat	Asbestfiltrat
Aussehen des Wassers	schwach trüb	etwas trüb	klar
Erste Bestimmung	24,3	14,9	11,9
Zweite Bestimmung	25,0	14,6	11,9

[1]) Nur einer von Herrn Professor Dr. Heim ermittelten Ausnahme muß man Raum geben, bei der es sich um suspendierte Stoffe handelt, die selbst das Asbestfilter durchsetzen; es sind die Milchfettkügelchen, die bei einem Druck von mehreren Atmosphären auch durch eng gestopfte Asbestlagen hindurchgepreßt werden und dann gleichzeitig Bakterien mit sich reißen. Es werden darüber noch weitere Versuche angestellt werden, die sich insbesondere mit den Verdünnungen befassen, in denen ein Durchtritt von derartigen großen und gleichzeitig sehr weichen und schlüpfrigen Schwebeteilchen stattfindet. In solchen Fällen wird aber das makroskopische Aussehen des Filtrates den Untersucher darauf aufmerksam machen, daß Schwebeteilchen mit hindurchgegangen sind, eventuell die Prüfung unter dem Mikroskop. Bei Flußwasseruntersuchungen werden derartige Dinge nur ausnahmsweise vorkommen.

Die Unterschiede, die die neue Methode gegenüber der bisherigen ergibt, sind aus folgenden Untersuchungen in Fluß- und Abwasser zu sehen:

Tabelle 14.

Oberhalb. **Flufswasser.** Unterhalb.

Datum 1905	Kaliumpermanganatverbrauch im:			Datum 1905	Kaliumpermanganatverbrauch im:		
	Rohwasser	Papierfiltrat	Asbestfiltrat		Rohwasser	Papierfiltrat	Asbestfiltrat
14. III.	15,4	12,1	8,0	14. III.	25,0	14,6	11,9
14. III.	14,9	12,4	8,0	14. III.	24.3	14,9	11,9
18. III.	17,5	11,1	9,9	18. III.	18,5	10,8	9,9
18. III.	17,5	11,7	9,9	18. III.	18,5	12,3	9,9
27. VI.	25,0	21,8	19,0	27. VI.	30,4	22,3	20,1
			Sielwasser.				
17. V.	286,7	209,1	159,7	23. V.	204,3	172,5	122,9

Zieht man aus dieser Tabelle die Durchschnitte, so ergeben sich folgende Zahlen:

Tabelle 15.

	Kaliumpermanganatverbrauch:					
	im Rohwasser	im Papierfiltrat	im Asbestfiltrat	für Schwebestoffe bei Filtration durch: Papier	für Schwebestoffe bei Filtration durch: Asbest	zu viel bei Papierfiltration
Flußwasser oberhalb . .	18,1	13,8	11,0	4,3	7,1	2,8 = 39,4 %
Flußwasser unterhalb . .	23,3	15,0	12,7	8,3	10,6	2,3 = 21,7 %
Sielwasser	245,5	190,8	141,3	54,7	104,2	49,5 = 47,5 %

Man muß also bei der Forderung beharren, daß in Zukunft die Oxydierbarkeitsbestimmung in einem Wasser vorgenommen wird, das durch die Asbestfiltration vollkommen von schwebenden Stoffen befreit worden ist; es ist dann auch eine gute Scheidung zwischen Gelöstem und Suspen-

diertem möglich. Will man die Oxydierbarkeit der Schwebestoffe erfahren, so braucht man bloß die Bestimmung für das Rohwasser zu machen und die für das Asbestfiltrat erhaltenen Werte davon abzuziehen. Das ist aber nicht unbedingt nötig. Dagegen ist es ganz unzulässig, die Oxydierbarkeit in einer Probe auszuführen, die vorher durch Papier filtriert worden ist. Überhaupt ist jede andere Filtration zu verwerfen, die nicht das gleiche leistet wie die Asbestfiltration.

Gegen die Asbestfiltration könnte eingewendet werden, daß der Asbest auf die gelösten organischen Stoffe selbst oxydierend wirkt, so daß die Oxydierbarkeit in ähnlicher Weise wie durch Schütteln mit Tierkohle herabgesetzt wird.

Wie die nachfolgenden Bestimmungen erweisen, ist das nicht der Fall. Ich habe sowohl Fluß- als auch Sielwasser wiederholt durch dasselbe Asbestfilter geschickt und danach jedesmal die Oxydierbarkeit geprüft, sie blieb gleich. Die längere Berührung mit Asbest hatte keinen Einfluß auf sie.

Tabelle 16.

Wasser	Datum 1905	Ort der Entnahme	Kaliumpermanganatverbrauch nach der		
			1. Filtration	2. Filtration	3. Filtration
Regnitzwasser	14. III.	oberhalb der Schmidtschen Insel	8,0	8,0	-
„	„	ca. 100 m unterhalb der Sielmündung	11,9	11,9	—
Sielwasser	17. V.	bei der Einmündung in die Regnitz	159,7	160,0	159,7

Gesamt-Stickstoff.

Auch bei diesen Bestimmungen zeigte sich die Überlegenheit der neuen Methode gegenüber der früheren. Wenn sie auch nicht in größerer Zahl ausgeführt wurden, so läßt sich diese Behauptung doch schon an dem vorliegenden Material beweisen. Am deutlichsten waren natürlich die Ausschläge im Sielwasser. Mit diesem habe ich zwei Untersuchungsreihen zum Vergleich von Papier- und Asbestfiltration durchgeführt

und den Stickstoff das erste Mal aus 250, das zweite Mal aus 500 ccm bestimmt:

Tabelle 17.

Datum 1905	Stickstoffgehalt des Wassers			Stickstoffgehalt für suspend. Stoffe		
	I Rohwasser	II Papierfiltrat	III Asbestfiltrat	auf Asbest zurückgeblieben = Differenz von I u. III	auf Papier zurückgeblieben = Differenz von I u. II	Feinste suspendierte Stoffe im Sielwasser
17. V.	55,2	45,7	41,4	13,8	9,5	4,3 = 31,2 %
23. V.	47,6	43,1	36,9	10,7	4,5	6,2 = 58,0 %

Diese Ergebnisse stammen von indirekten Untersuchungen, d. h. es wurde der Stickstoff im Rohwasser und im Filtrate nachgewiesen; die direkte Untersuchung wäre hier leichter auszuführen, als das bei der Bestimmung der Menge der suspendierten Stoffe der Fall ist. Indessen erschien es doch nicht ratsam, weil der Asbest durch zufällig hineingekommene Verunreinigungen stickstoffhaltiger sein konnte, als die Kontrolle ergab. Aus diesem Grunde wäre es angezeigt gewesen, möglichst wenig Asbest zu verwenden; dann aber mußte das Filter so klein genommen werden, daß die quantitative Leistungsfähigkeit bedeutend beeinträchtigt worden wäre.

Ich habe übrigens an einem solchen kleinen Filter eine derartige Untersuchung mit einem Gemisch von Flußwasser oberhalb und unterhalb Erlangens ausgeführt und sechs Liter davon durch 0,81 g Asbest geschickt. Die erhaltenen Zahlen waren folgende:

Stickstoffgehalt:	des Filters + Schwebestoffe	3,9 mg
„	von 0,81 g Asbest (aus 3,0 g berechnet)	0,1 „
„	für Schwebestoffe in 6 l Wasser	3,8 „
„	„ „ „ 1 l „	0,63 „

Da jedoch die indirekte Bestimmung ebenfalls gute Anhaltspunkte gab, so wandte ich mich ausschließlich dieser zu und schickte je 2 Liter Flußwasser durch ein großes Asbestfilter. Die folgende Tabelle (18) zeigt die Stickstoffzahlen in Milligramm auf 1 Liter berechnet:

Tabelle 18.

Stickstoffgehalt im Fluſs- und Sielwasser.

		Tag der Entnahme 1905	Stickstoffgehalt im		Stickstoffgehalt der suspend. Stoffe = Differenz von I u. II	Menge der suspendierten Stoffe[1])	Stickstoffgehalt der suspendierten Stoffe in Proz.
			I Rohwasser	II Asbestfiltrat			
Flußwasser	oberhalb	18. III.	2,38	1,54	0,84	40,4	2,07
	unterhalb	18. III.	2,45	1,54	0,91	44,3	2,05
	oberhalb	27. VI.	2,50	2,04	0,46	16,5	2,78
	unterhalb	27. VI.	3,10	2,40	0,70	20,8	3,31
	Sielwasser[2])	17. V.	55,2	41,4	13,8	269,9	5,11
		23. V.	47,6	36,9	10,8	325,9	3,2

Zieht man aus je zwei Bestimmungen das Mittel, so ergeben sich folgende Zahlen:

Tabelle 19.

	Stickstoffgehalt		
	im Rohwasser	im Asbestfiltrat	für suspendierte Stoffe
Flußwasser oberhalb	2,44	1,79	0,65
Flußwasser unterhalb	2,78	1,97	0,81
Sielwasser	51,4	39,1	12,30

Der Stab: „Stickstoffgehalt für suspendierte Stoffe“, konnte als solcher aufgenommen werden, weil die Asbestfiltration alle körperlichen Teile aus dem Wasser ausschaltet. Doch muß hier der Einschränkung Raum gegeben werden, daß die im Asbestfiltrat festgestellten Stickstoffzahlen nicht als so sicher feststehende Werte angesehen werden dürfen, wie die beim Abdampfrückstande gewonnenen.

Wenn auch der Stickstoffgehalt im Asbestfiltrat allein und ausschließlich für gelöste Stoffe angenommen werden

[1]) Berechnet aus der Differenz der Abdampfrückstände zwischen Rohwasser und Asbestfiltrat (siehe Tabelle 11 Seite 57).

[2]) Vgl. die vorige Tabelle.

kann, so muß doch zugegeben werden, daß diese gelösten Stoffe, und gerade die stickstoffhaltigen, nicht alle im Asbestfiltrat erscheinen, sondern zum Teil zurückgehalten werden.

Nachdem von den Tonzellen bekannt war, daß sie gewisse Eiweißstoffe nicht durchlassen (vergl. Rubner A. f. H. Bd. 46 S. 38), so war anzunehmen, daß das auch bei der Asbestfiltration der Fall sei.

Eine kolloidale Silberlösung, die Herr Professor Dr. Paal in dankenswerter Weise zur Verfügung stellte, filtrierte durch Asbest gefärbt; doch schien die dunkelbraune Färbung nach der Filtration etwas geringer als vorher. Ich habe dann eine quantitative Bestimmung durch Filtration einer Eiweißlösung in nachfolgender Weise angestellt.

5,0 g Albumen ovi siccum wurden in einer Reibschale zerrieben, mit 500 ccm destilliertem Wasser drei Stunden lang bei 35° stehen gelassen und das Ungelöste durch Papier abfiltriert, was fast einen ganzen Tag in Anspruch nahm. Dieses Papierfiltrat, das im durchfallenden und auffallenden Lichte sehr schwach trüb und gelblich gefärbt erschien, enthielt rund 0,1 % Stickstoff. Die genaueren Zahlen siehe Tabelle 20. (Die Stickstoffbestimmung habe ich immer mit 50 ccm der Lösung gemacht).

Ein Teil dieser Lösung wurde nun durch ein kleines Asbest-, der andere durch ein Berkefeldfilter filtriert und beide Male zwischen 4 und 5 Atm. Druck angewendet.

Bei der Filtration durch Asbest brauchten 80 ccm 45 Minuten. Das Filtrat, das im durchfallenden Lichte klar, im auffallenden sehr schwach trüb und gelblich gefärbt war, enthielt rund 0,1 % Stickstoff.

Bei der Filtration durch Kieselgur brauchten 80 ccm etwa 15 Stunden. Ich hatte nachmittags 5 Atm. Druck aufgegeben und diesen Druck über Nacht auf dem Filter gelassen; am folgenden Morgen war er auf 3,7 Atm. zurückgegangen. Da die 6 ccm lange Kerze bereits mehrere Zentimeter von Flüssigkeit entblößt war, so hätte man erwarten können, daß der Druck noch viel weiter zurückgegangen wäre; denn in ähnlichen Fällen beobachtet man bei der Filtration anderer Flüssigkeiten, daß die Druckluft durch die Poren einer Kerze, die nicht mehr ganz von

Flüssigkeit bedeckt ist, hindurchgeht. Im vorliegenden Falle lag auf der Oberfläche der Kerze eine schleimige Schicht, jedenfalls aus Eiweiß bestehend, die das Filter vollständig verstopft hatte. Sie war auch die Ursache, daß das Filtrat verhältnismäßig recht eiweißarm war; denn die im durchfallenden und auffallenden Lichte klare und farblose Lösung enthielt nur 0,016 % Stickstoff.

Tabelle 20.

Versuch mit Eiweifs.

Es betrug der Stickstoffgehalt:

I.	in der Ausgangslösung . . .	103,6 mg in 100 ccm
II.	im Asbestfiltrat	100,52 „ „ „ „
III.	im Kieselgurfiltrat	16,24 „ „ „ „

Abnahme des Stickstoffgehaltes durch das Asbestfilter . . .	3,08 mg = 2,97 %
Abnahme des Stickstoffgehaltes durch das Kieselgurfilter . .	87,36 mg = 84,3 %

Damit ist bewiesen, daß die Berkefeldkerze für einen derartigen Versuch unbrauchbar wird; denn sie hat in meinem Falle 84,3 % des Gesamtstickstoffgehaltes zurückgehalten, während die Asbestmasse noch nicht 3 % (genau 2,97 %) weggenommen hat. Dieser geringe Verlust ist als belanglos anzusehen; man kann die Asbestfiltration somit ganz gut auch zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes der gelösten Substanzen verwenden.

Zum Schlusse nehme ich gerne Gelegenheit, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. L. Heim, unter dessen liebenswürdiger Leitung und Unterstützung vorliegende Arbeit entstanden ist, meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Desgleichen bin ich Herrn Professer Dr. H. Solereder für die gütige Übernahme des Referates zu größtem Danke verbunden.

Lebenslauf.

Der Verfasser dieser Arbeit, Paul Gerhard Schwenzer, katholischer Konfession, preußischer Staatsangehörigkeit, wurde geboren zu Crefeld am 27. August 1878 als Sohn des Kaufmanns Gustav Anton Schwenzer und dessen Ehefrau Anna Maria Barbara geb. Küsters. Er besuchte das städtische Gymnasium zu Crefeld und widmete sich nach erlangter Reife für Obersekunda dem Apothekerberufe. Im Sommersemester 1902 bezog er die Universität Erlangen und bestand im Wintersemester 1903/04 das pharmazeutische Staatsexamen mit dem Prädikat „sehr gut“. Hierauf studierte er weitere vier Semester an der gleichen Universität Naturwissenschaften und verfertigte während dieser Zeit vorliegende Arbeit.